



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

ZASTŘEŠENÍ PLANETÁRIA

THE ROOF STRUCTURE OF THE PLANETARIUM.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radek Vojta

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. STANISLAV BUCHTA, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

| | |
|-------------------------|---|
| Studijní program | N3607 Stavební inženýrství |
| Typ studijního programu | Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia |
| Studijní obor | 3607T009 Konstrukce a dopravní stavby |
| Pracoviště | Ústav kovových a dřevěných konstrukcí |

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

| | |
|-----------------|------------------------------|
| Student | Bc. Radek Vojta |
| Název | Zastřešení planetária |
| Vedoucí práce | Ing. Stanislav Buchta, Ph.D. |
| Datum zadání | 31. 3. 2016 |
| Datum odevzdání | 13. 1. 2017 |

V Brně dne 31. 3. 2016

prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1. Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, Structural Timber Education Programme, Part 1, Navrhování a konstrukční materiály. Centrum Hout, The Netherlands, 1995, autorizovaný překlad Koželouh, B., 1998
2. Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, Structural Timber Education Programme, Part 2, Navrhování a konstrukční detaily. Centrum Hout, The Netherlands, 1995, autorizovaný překlad Koželouh, B., 2004
3. ČSN EN 1995-1-1 Navrhování dřevěných konstrukcí
4. Straka, B. Navrhování dřevěných konstrukcí, CERM, s.r.o., Brno, 1996
5. Straka, B., Sýkora, K. Dřevěné konstrukce. Studijní opora, Modul BO03-MO1 až BO03-MO5
6. Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí, Koželouh, B., IC ČKAIT, 2009
7. ČSN 73 1702 Navrhování dřevěných stavebních konstrukcí

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Navrhněte dřevěnou nosnou konstrukci planetária pro lokalitu Brno a výšku konstrukce 10m. Konstrukci navrhněte z lepeného lamelového dřeva, rostlého dřeva a ocelových nosných prvků.

Vypracujte technickou zprávu včetně alternativ řešení, statický výpočet vybrané alternativy, odpovídající výkresovou projekční dokumentaci a orientační výkaz spotřeby materiálu.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Stanislav Buchta, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce bylo navrhnout a posoudit dřevěnou nosnou konstrukci planetária pro lokalitu Brna a výšku konstrukce 10 m. Navržený objekt planetária je tvořen kopulí a halou, které staticky působí samostatně. Konstrukce je navržena z lepeného lamelového dřeva, rostlého dřeva a ocelových táhel, prstence a spojovacích prvků. Spodní stavba je řešena železobetonovými kotevními bloky vetknutými do základových patek, které jsou vzájemně spojeny základovými pasy. Nosnou konstrukci kopule tvoří oblouková žebra společně s vaznicemi a vrcholovým prstencem. Stabilitu zajišťují 4 pole diagonálních ztužidel umístěných mezi vaznicemi. Nosnou konstrukci haly tvoří střešní a stěnová žebra vzájemně spojená rámovými rohy společně se střešními a stěnovými vaznicemi. Ve štítových stěnách je konstrukce doplněna sloupy. Stabilitu zajišťují diagonály a svislice umístěné mezi stěnovými vaznicemi společně vytvářejícími příhradový systém.

KLÍČOVÁ SLOVA

zastřešení
planetárium
lepené lamelové dřevo
rostlé dřevo
ocelové spojovací prvky
žebro
vaznice
prstenec
ztužidla
sloup
rámový roh

ABSTRACT

The aim of the final thesis was to design and assess timber loadbearing structure of planetarium located in Brno and height of the construction 10 m. Designed building of planetarium consists of dome and hall, which operate separately. The structure is designed from glue laminated timber, solid timber and steel bracing, ridge ring and connecting elements. Building foundations is solved by reinforced anchor blocks fixed to foundation pads, which are connected by foundation strips. Loadbearing structure of the dome consists of arched beams together with purlins and ridge ring. Stability is ensured by 4 fields of cross bracing located between purlins. Loadbearing structure of the hall consists of roof and wall beams connected by frame corners together with roof and wall purlins. In gable walls is structure complemented by columns. Stability is ensured by diagonal and vertical elements situated between wall purlins, which together form a truss system.

KEYWORDS

roofing
planetarium
glue laminated timber
solid timber
steel connecting elements
beam
purlin
ridge ring
bracing
column
frame corner

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Radek Vojta *Zastřešení planetária*. Brno, 2017. 363 s., 78 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Stanislav Buchta, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10. 1. 2017

Bc. Radek Vojta
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat mému vedoucímu Ing. Stanislavu Buchtovi za vedení při mé diplomové práci, poskytování rad a za ochotu při zodpovídání mých dotazů.

OBSAH

- A TECHNICKÁ ZPRÁVA
- B STATICKÝ VÝPOČET – KOPULE
- C STATICKÝ VÝPOČET – HALA
- D STATICKÝ VÝPOČET – SPOJE
- E VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE
- F VÝSTUPY Z PROGRAMU RFEM

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Normy a odborné publikace

- [1] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [3] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [4] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [5] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [6] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [7] ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [8] KOŽELOUH, Bohumil. Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5 - Step 1 - Navrhování a konstrukční materiály. Zlín: Bohumil Koželouh, 1998.
- [9] KOŽELOUH, Bohumil. Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5 - Step 2 - Navrhování detailů a nosných systémů. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2004.
- [10] STRAKA, B.; SÝKORA, K. Dřevěné konstrukce. VUT v Brně, Fakulta stavební, 2005.

Webové zdroje

- [11] Mapa zatížení sněhem. ČHMÚ. [online]. Dostupné z: <http://www.snehovamapa.cz/>
- [12] DYAS MULTIPLEX – překližky celobukové vícevrstvé. DYAS. [online]. Dostupné z: <http://www.dyas.eu/produkty/dyas-multiplex/>
- [13] Táhlá Macalloy. Tension Systems. [online]. Dostupné z: <http://www.tension.cz/produkty/tahla-macalloy/>
- [14] Lepené kotvy HILTI. HILTI. [online]. Dostupné z: <https://www.hilti.cz/>
- [15] Vrutky do dřeva POWER FAST. FISCHER. [online]. Dostupné z: <http://vruty-fischer.cz/vrutky-do-dreva/>

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Vedoucí práce Ing. Stanislav Buchta, Ph.D.

Autor práce Bc. Radek Vojta

Škola Vysoké učení technické v Brně

Fakulta Stavební

Ústav Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

Studijní obor 3607T009 Konstrukce a dopravní stavby

Studijní program N3607 Stavební inženýrství

Název práce Zastřešení planetária

Název práce v anglickém jazyce The roof structure of the planetarium.

Typ práce Diplomová práce

Přidělovaný titul Ing.

Jazyk práce Čeština

Datový formát elektronické verze PDF

Abstrakt práce Cílem diplomové práce bylo navrhnout a posoudit dřevěnou nosnou konstrukci planetária pro lokalitu Brna a výšku konstrukce 10 m. Navržený objekt planetária je tvořen kopulí a halou, které staticky působí samostatně. Konstrukce je navržena z lepeného lamelového dřeva, rostlého dřeva a ocelových táhel, prstence a spojovacích prvků. Spodní stavba je řešena železobetonovými kotevními bloky vetknutými do základových patek, které jsou vzájemně spojeny základovými pasy. Nosnou konstrukci kopule tvoří oblouková žebra společně s vaznicemi a vrcholovým prstencem. Stabilitu zajišťují 4 pole diagonálních ztužidel umístěných mezi vaznicemi. Nosnou konstrukci haly tvoří střešní a stěnová žebra vzájemně spojená rámovými rohy společně se střešními a stěnovými vaznicemi. Ve štítových stěnách je konstrukce doplněna sloupy. Stabilitu zajišťují diagonály a svislice umístěné mezi stěnovými vaznicemi společně vytvářejícími příhradový systém.

**Abstrakt práce
v anglickém
jazyce**

The aim of the final thesis was to design and assess timber loadbearing structure of planetarium located in Brno and height of the construction 10 m. Designed building of planetarium consists of dome and hall, which operate separately. The structure is designed from glue laminated timber, solid timber and steel bracing, ridge ring and connecting elements. Building foundations is solved by reinforced anchor blocks fixed to foundation pads, which are connected by foundation strips. Loadbearing structure of the dome consists of arched beams together with purlins and ridge ring. Stability is ensured by 4 fields of cross bracing located between purlins. Loadbearing structure of the hall consists of roof and wall beams connected by frame corners together with roof and wall purlins. In gable walls is structure complemented by columns. Stability is ensured by diagonal and vertical elements situated between wall purlins, which together form a truss system.

Klíčová slova

zastřešení
planetárium
lepené lamelové dřevo
rostlé dřevo
ocelové spojovací prvky
žebro
vaznice
prstenec
ztužidla
sloup
rámový roh

**Klíčová slova
v anglickém
jazyce**

roofing
planetarium
glue laminated timber
solid timber
steel connecting elements
beam
purlin
ridge ring
bracing
column
frame corner

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 10. 1. 2017

Bc. Radek Vojta
autor práce



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

A TECHNICKÁ ZPRÁVA

TECHNICAL REPORT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radek Vojta

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. STANISLAV BUCHTA, Ph.D.

BRNO 2017

OBSAH

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | ÚVOD..... | 3 |
| 2 | VARIANTY ŘEŠENÍ | 3 |
| 2.1 | KOPULE – VARIANTA A..... | 3 |
| 2.2 | KOPULE – VARIANTA B..... | 4 |
| 2.3 | KOPULE – VARIANTA C..... | 4 |
| 2.4 | VYHODNOCENÍ VARIANT..... | 5 |
| 3 | DISPOZICE KONSTRUKCE..... | 6 |
| 4 | ZATÍŽENÍ..... | 7 |
| 4.1 | STÁLÉ ZATÍŽENÍ | 7 |
| 4.2 | PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ..... | 7 |
| 4.2.1 | SNÍH..... | 7 |
| 4.2.2 | VÍTR..... | 7 |
| 4.2.3 | UŽITNÉ ZATÍŽENÍ..... | 7 |
| 5 | POPIS KONSTRUKCE | 7 |
| 5.1 | POPIS PRVKŮ KONSTRUKCE KOPULE | 8 |
| 5.1.1 | STŘEŠNÍ PLÁŠŤ | 8 |
| 5.1.2 | VAZNICE..... | 8 |
| 5.1.3 | ŽEBRA | 8 |
| 5.1.4 | ZTUŽIDLA | 8 |
| 5.1.5 | PRSTENEC | 8 |
| 5.2 | POPIS PRVKŮ KONSTRUKCE HALY | 8 |
| 5.2.1 | STŘEŠNÍ PLÁŠŤ | 8 |
| 5.2.2 | STŘEŠNÍ VAZNICE | 8 |
| 5.2.3 | STĚNOVÉ VAZNICE | 8 |
| 5.2.4 | STĚNOVÉ DIAGONÁLY A SVISLICE..... | 9 |
| 5.2.5 | STŘEŠNÍ ŽEBRA..... | 9 |
| 5.2.6 | STĚNOVÉ ŽEBRA..... | 9 |
| 5.2.7 | SLOUPY..... | 9 |
| 5.3 | POPIS SPOJŮ KONSTRUKCE KOPULE A HALY | 9 |
| 5.3.1 | KOTVENÍ ŽEBRA KOPULE A HALY..... | 9 |
| 5.4 | POPIS SPOJŮ KONSTRUKCE KOPULE..... | 9 |
| 5.4.1 | KOTVENÍ ŽEBRA KOPULE..... | 9 |
| 5.4.2 | ULOŽENÍ ŽEBRA KOPULE NA PRSTENEC | 10 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.4.3 | SPOJ PRSTENCE | 10 |
| 5.4.4 | ULOŽENÍ VAZNICE KOPULE SE ZTUŽIDLY NA ŽEBRO | 10 |
| 5.4.5 | ULOŽENÍ VAZNICE KOPULE NA ŽEBRO | 10 |
| 5.5 | POPIS SPOJŮ KONSTRUKCE HALY | 10 |
| 5.5.1 | RÁMOVÝ ROH | 10 |
| 5.5.2 | KOTVENÍ ŽEBRA HALY | 10 |
| 5.5.3 | ULOŽENÍ STĚNOVÉ VAZNICE | 10 |
| 5.5.4 | ULOŽENÍ STŘEŠNÍ VAZNICE | 11 |
| 5.5.5 | KOTVENÍ SLOUPU | 11 |
| 5.5.6 | ULOŽENÍ SLOUPU NA ŽEBRO | 11 |
| 5.6 | SPODNÍ STAVBA | 11 |
| 6 | VÝROBA | 11 |
| 7 | MONTÁŽ | 11 |
| 8 | OCHRANA KONSTRUKCE | 12 |
| 8.1 | OCHRANA DŘEVĚNÝCH PRVKŮ | 12 |
| 8.2 | OCHRANA KOVOVÝCH PRVKŮ | 12 |
| 9 | DOPRAVA | 12 |
| 10 | VÝKAZ MATERIÁLU | 13 |

1 ÚVOD

Cílem diplomové práce bylo navrhnout a posoudit dřevěnou nosnou konstrukci planetária pro lokalitu Brna a výšku konstrukce 10 m. Navržený objekt planetária je tvořen kopulí a halou, které staticky působí samostatně.

Konstrukce je navržena z lepeného lamelového dřeva, rostlého dřeva a ocelových táhel, prstence a spojovacích prvků. Spodní stavba je řešena železobetonovými kotevními bloky vetknutými do základových patek, které jsou vzájemně spojeny základovými pasy.

2 VARIANTY ŘEŠENÍ

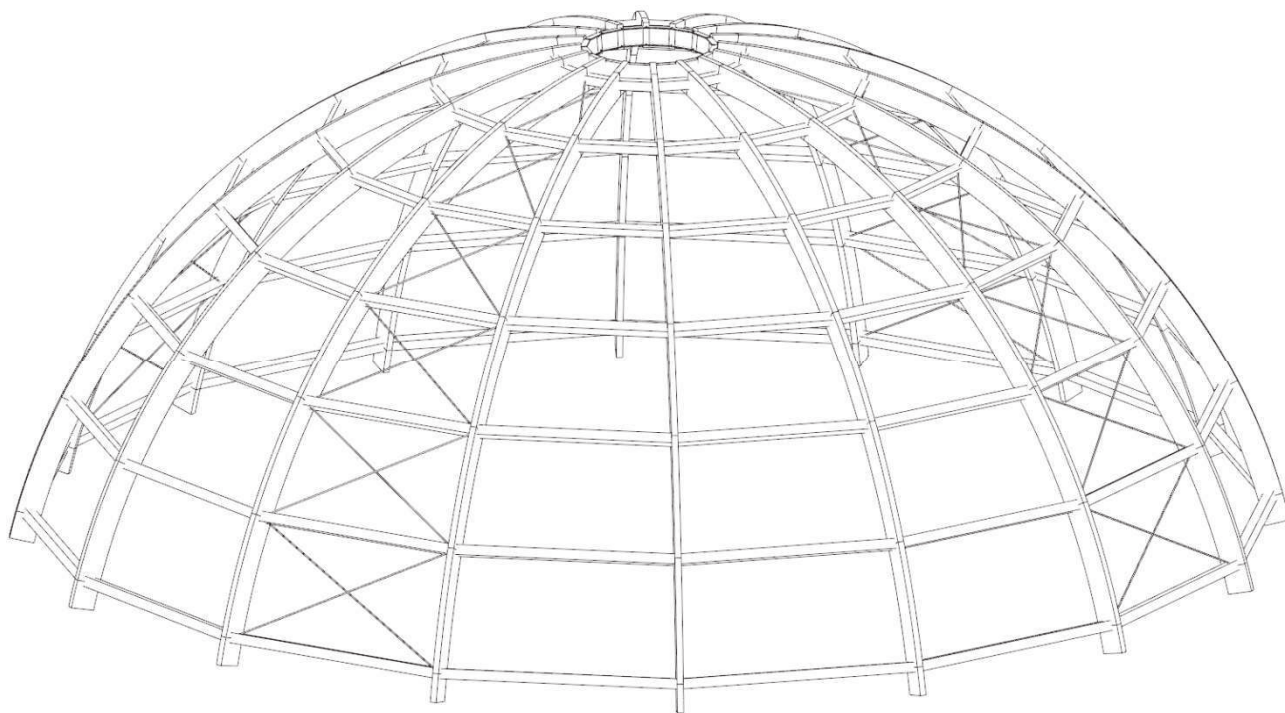
Konstrukce byla řešena ve 3 variantách kopule a v 1 variantě haly.

Pro varianty kopule byla zachována poloha a geometrie vaznic, skrze které je přenášeno zatížení střešním pláštěm, podhledem a zatížení nahodilé. Jednotlivé varianty byly vymodelovány v programu Dlubal RFEM. Pro všechny varianty bylo provedeno statické posouzení všech prvků, vnitřní síly pro posudky byly určeny ručním výpočtem nebo byly převzaty z programu Dlubal RFEM.

Varianty kopule byly posuzovány z hlediska orientační hmotnosti nosné konstrukce, pracnosti, jakosti materiálů, využití průřezů a konečných průhybů.

2.1 KOPULE – VARIANTA A

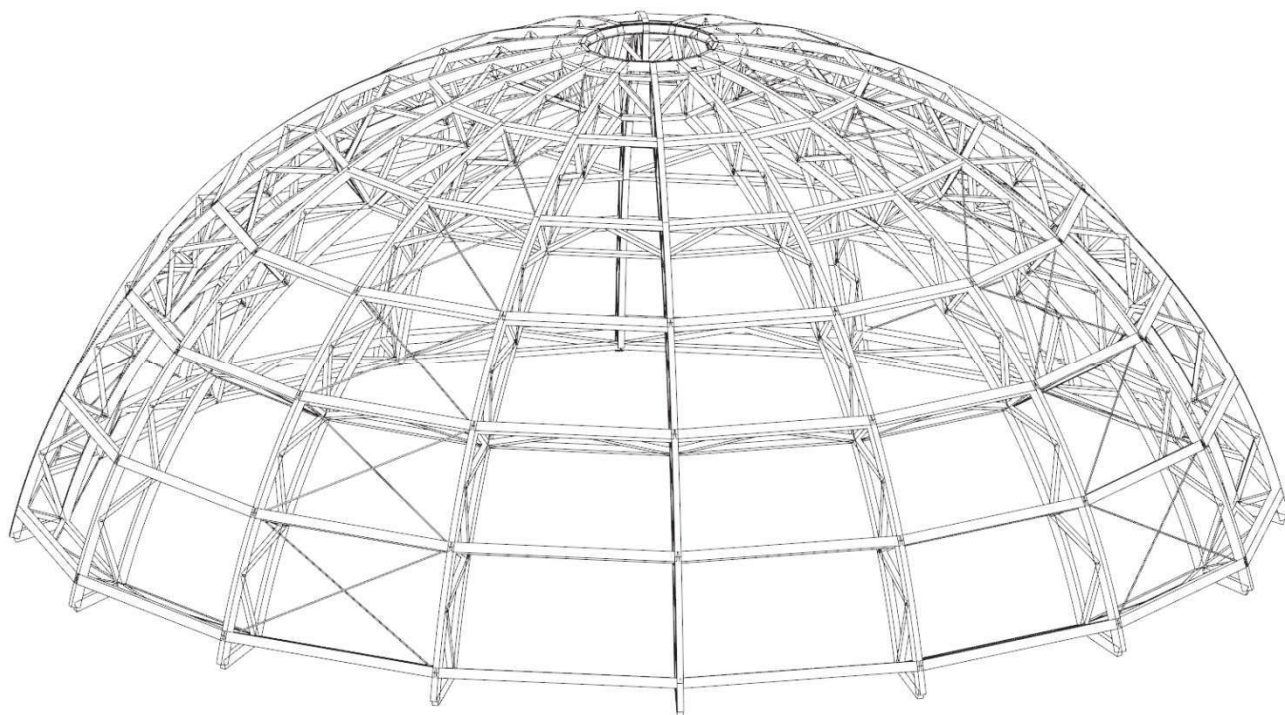
Konstrukce je tvořena plnostěnnými obloukovými žebry z lepeného lamelového dřeva průřezu 100 x 400 mm uloženými na kotevní bloky a v horní části osazenými na ocelový prstenec UPE 300. Mezi žebry jsou osazeny vaznice z rostlého dřeva působící jako prosté nosníky. Ve spodní části kopule jsou to vaznice průřezu 160 x 180 mm a v horní části kopule průřezu 120 x 160 mm. Příčně je konstrukce ztužena prostřednictvím 4 polí ocelových táhel ϕ 19 mm.



obr. 1 – kopule – varianta A

2.2 KOPULE – VARIANTA B

Konstrukce je tvořena příhradovými obloukovými žebry s osovou vzdáleností horních a dolních pásů 700 mm uloženými na kotevní bloky a v horní části osazenými na ocelový prstenec UPE 160. Horní a dolní pásy žebí tvoří obloukové prvky z lepeného lamelového dřeva průřezu 100 x 160 mm a diagonály a svislice jsou tvořeny rovinnými prvky z rostlého dřeva průřezu 100 x 80 mm. Mezi žebry jsou osazeny vaznice z rostlého dřeva dvou typů. Příhradové vaznice jsou umístěny na začátku a konci žebra a tvoří i každou druhou vaznici, tyto vaznice slouží pro stabilizaci tlačných dolních pásů žebí. Ostatní vaznice působí jako prosté nosníky. Příhradové vaznice ve spodní části kopule mají horní pásy průřezu 160 x 160 mm, dolní pásy průřezu 100 x 100 mm a diagonály průřezu 100 x 80 mm. Příhradové vaznice v horní části kopule mají horní pásy průřezu 120 x 120 mm a dolní pásy a diagonály průřezu 80 x 80 mm. Ostatní vaznice ve spodní části kopule jsou průřezu 160 x 160 mm a v horní části kopule průřezu 120 x 120 mm. Příčně je konstrukce ztužena prostřednictvím 4 polí ocelových táhel ϕ 19 mm.

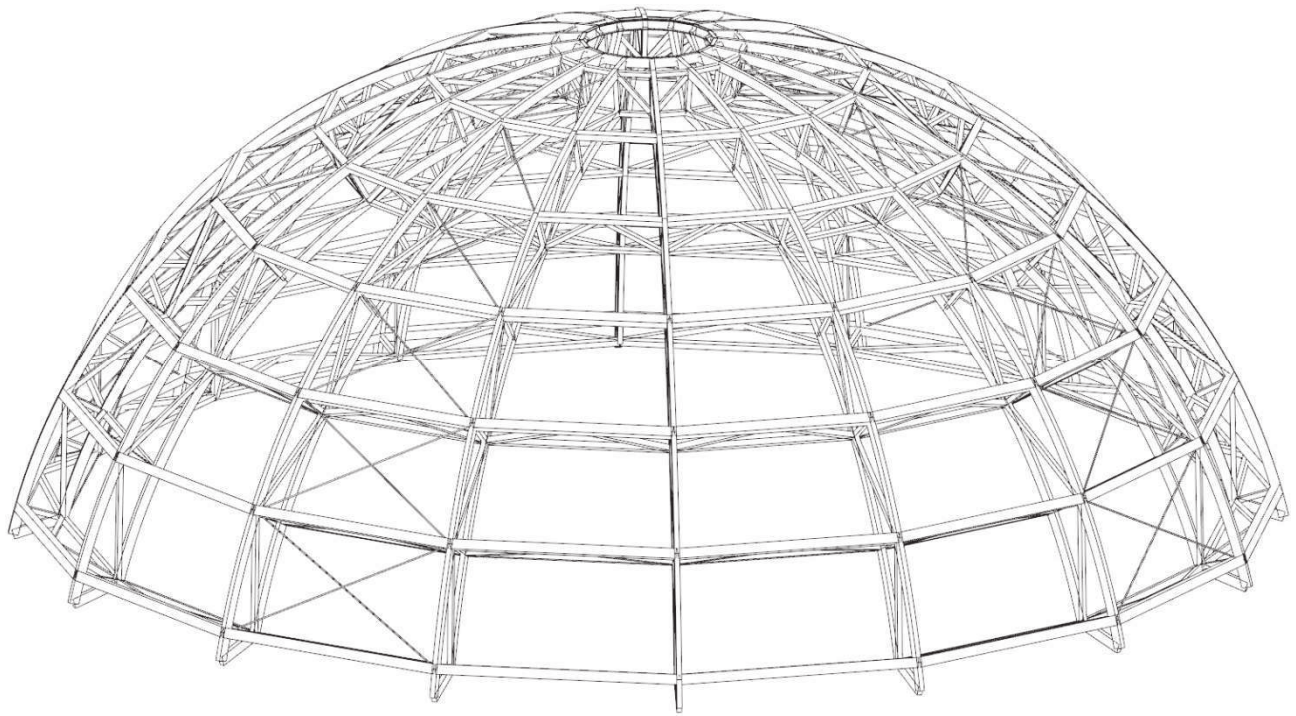


obr. 2 – kopule – varianta B

2.3 KOPULE – VARIANTA C

Tato varianta vychází z varianty B s některými změnami.

Vzhledem k jinému uspořádání diagonál u žebí a přidavné příhradové vaznici ve spodní části kopule jsou u žebí použity štíhlejší horní a dolní pásy průřezu 80 x 160 mm a diagonály a svislice průřezu 80 x 80 mm.



obr. 3 – kopule – varianta C

2.4 VYHODNOCENÍ VARIANT

| | varianta A | varianta B | varianta C |
|-----------------------------|------------------|------------------|-----------------|
| hmotnost nosné konstrukce | 6,632 t | 7,377 t | 7,010 t |
| počet prvků | 177 | 705 | 657 |
| | využití | | |
| vaznice – horní pásy | 160 x 180, C24 | 160 x 160, C22 | 160 x 160, C22 |
| využití | 87 % | 78 % | 77 % |
| vaznice – dolní pásy | – | 100 x 100, C18 | 100 x 100, C18 |
| využití | – | 76 % | 86 % |
| vaznice – diagonály | – | 100 x 80, C18 | 100 x 80, C18 |
| využití | – | 32 % | 35 % |
| žebra – horní pásy | 100 x 400, GL24h | 100 x 160, GL24h | 80 x 160, GL24h |
| využití | 97 % | 51 % | 97 % |
| žebra – dolní pásy | – | 100 x 160, GL24h | 80 x 160, GL24h |
| využití | – | 96 % | 88 % |
| žebra – diagonály, svislice | – | 100 x 80, C18 | 80 x 80, C18 |
| využití | – | 37 % | 79 % |
| ztužidla | φ 19 mm, S460 | φ 19 mm, S460 | φ 19 mm, S460 |
| využití | 65 % | 38 % | 44 % |
| prstenec | UPE 300, S355 | UPE 160, S235 | UPE 160, S235 |
| využití | 36 % | 45 % | 48 % |
| | průhyb | | |
| vaznice | 1 / 258 L | 1 / 356 L | 1 / 356 L |
| žebra | 1 / 877 L | 1 / 1 290 L | 1 / 1 099 L |

Z hlediska hmotnosti konstrukce a pracnosti je jednoznačně nejvýhodnější varianta A. Příhradové varianty jsou pro toto relativně malé rozpětí nevýhodné, výhodné by se začaly stávat pro rozpětí kolem 30 – 40 m.

Jakost použitých materiálů a využitelnost průřezů je pro všechny varianty přibližně stejná. Pro varianty B a C vycházejí materiály nepatrně nižší jakosti a menších průřezů, ovšem to vychází z podstaty příhradových konstrukcí a je to vyváжено větším počtem prvků.

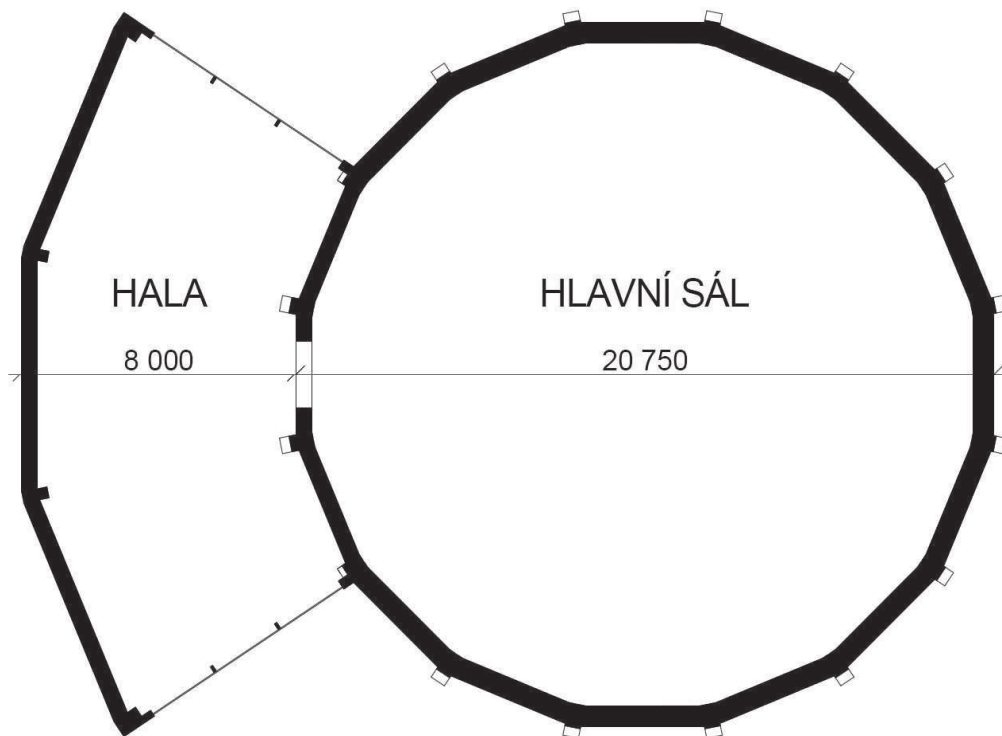
Průhyby konstrukcí vycházejí příznivěji u variant B a C a jsou o zhruba o 30 – 40 % menší než u varianty A.

Rozhodujícími hledisky pro volbu konstrukce kopule se tedy stává hmotnost konstrukce a pracnost, které výrazně převažují nad ostatními hledisky. Podstatná je i menší výška plnostěnné nosné konstrukce oproti konstrukci příhradové.

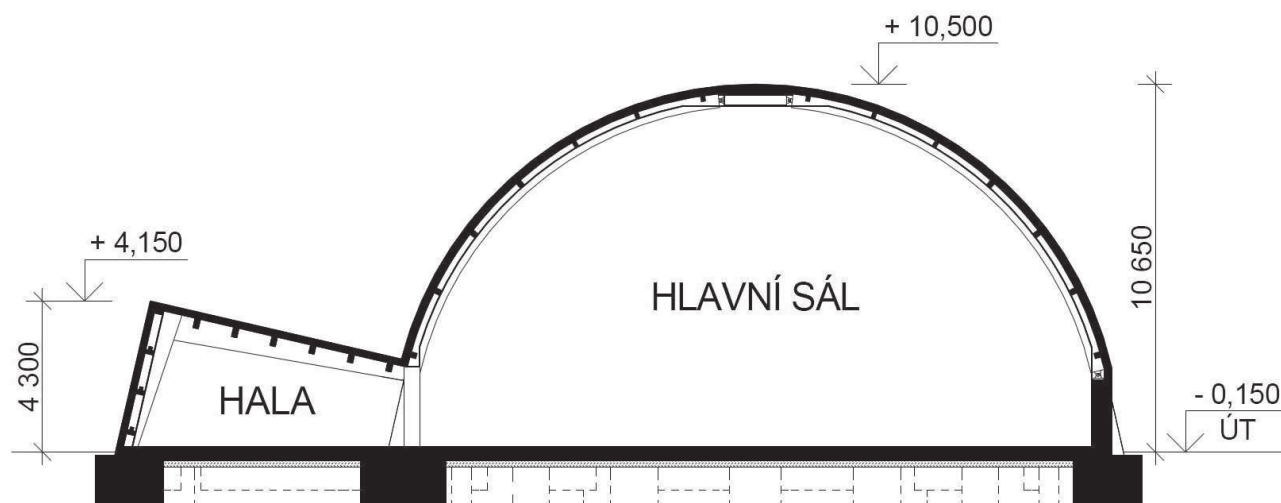
Podrobněji tedy bude zpracována varianta A, u které bude společně s halou provedeno podrobné statické posouzení prvků a spojů a bude vypracována výkresová dokumentace.

3 DISPOZICE KONSTRUKCE

Objekt planetária bude tvořen kopulí a halou, která bude složit jako hlavní vstup do kopule. Půdorysný průměr kopule je 20,75 m a výška kopule činí 10,65 m. Prostor kopule bude sloužit jako hlavní sál pro světelnou projekci. Hala je tvořena 3 segmenty, které radiálně navazují na konstrukci kopule, jejich šířka je 8,0 m a výška haly činí 4,3 m. V hale bude umístěno předsálí, šatna a hygienická zařízení. Vstupy do haly budou orientovány ve štítových stěnách a to na jižní a severní světovou stranu.



obr. 4 – půdorys konstrukce



obr. 5 – řez konstrukce

4 ZATÍŽENÍ

4.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ

Stálé zatížení je tvořeno tíhou střešního pláště, podhledem, skleněnou fasádou a vlastní tíhou, která byla vygenerována prostřednictvím softwaru Dlubal RFEM. Zatížení bylo stanoveno v souladu s normou ČSN EN 1991-1-1.

4.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

4.2.1 SNÍH

Objekt se nachází ve II. sněhové oblasti. Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi činí $1,0 \text{ KN/m}^2$. Ve výpočtech byl uvažován sníh rovnoměrný, nerovnoměrný a navátý. Zatížení bylo stanoveno v souladu s normou ČSN EN 1991-1-3.

4.2.2 VÍTR

Objekt se nachází ve II. větrné oblasti. Základní rychlost větru činí 25 m/s . Ve výpočtu kopule bylo uvažováno zatížení větrem na kopule. Ve výpočtu haly bylo uvažováno zatížení větrem na pultové střechy a svislé stěny. Zatížení bylo stanoveno v souladu s normou ČSN EN 1991-1-4.

4.2.3 UŽITNÉ ZATÍŽENÍ

Toto zatížení bylo vzhledem ke sklonovým poměrům objektu uvažováno pouze na střeše haly. Charakteristická hodnota plošného zatížení činí $0,75 \text{ KN/m}^2$ a charakteristická hodnota osamělé síly $1,00 \text{ KN}$. Zatížení bylo stanoveno v souladu s normou ČSN EN 1991-1-1.

5 POPIS KONSTRUKCE

Konstrukce je tvořena 16 plnostěnnými obloukovými žebry, která jsou uspořádána radiálně, a která jsou ve vrcholu osazena na ocelový polygonálně lomený prstenec, který je vytvořen z vzájemně svařených prutů válcovaného profilu. Na 4 z těchto žebírek kopule dále radiálně navazují žebra haly, která jsou tvořena střešními a stěnovými žebry vzájemně spojenými rámovými rohy. Mezi žebry kopule a střešními žebry haly jsou osazeny vaznice působící jako prosté nosníky. Mezi stěnovými žebry haly jsou osazeny příhradové vaznice složené ze stěnových vaznic, diagonál a svislic. Vaznice jsou vždy kladeny tak, aby jejich horní povrchy lícovaly s horními povrchy žebírek. Na všechny vaznice jsou kladeny překližované desky, které budou sloužit

jako nosná konstrukce pro skladbu střešního pláště. Vaznice kopule dále slouží pro konstrukci na zavěšení plátna a střešní a stěnové vaznice haly pro zavěšení konstrukce podhledu. Příčně je konstrukce kopule ztužena prostřednictvím 4 polí ocelových táhel umístěných mezi vaznicemi.

5.1 POPIS PRVKŮ KONSTRUKCE KOPULE

5.1.1 STŘEŠNÍ PLÁŠŤ

Nosnou část střešního pláště tvoří překližované desky DYAS MULTIPLEX – třída lepení 1, rozměr desek 2 000 x 1 250 x 50 mm, tvořící bednění osazené vedle sebe na sraz na vaznice. Krajiní desky bude nutno oříznout pro dosažení přesného tvaru konstrukce. Na tyto desky budou dále kladeny vrstvy střešního pláště – viz B.2.1.2.

5.1.2 VAZNICE

Jsou zhotoveny z rostlého dřeva C24 a staticky budou působit jako prosté nosníky osazené do třmenů nebo na plechy připevněné na žebra. Vaznice jsou 2 typů, 4 řady vaznic ve spodní části kopule jsou průřezu 160 x 180 mm a 3 řady vaznic v horní části kopule průřezu 120 x 160 mm. Osově vzdálenosti vaznic činí 2,0 m a jejich rozpětí se pohybují od 0,53 m do 3,83 m.

5.1.3 ŽEBRA

Jsou zhotoveny z lepeného lamelového dřeva GL24h a staticky budou působit jako dvoukloubové oblouky osazené pomocí čepových spojů v dolní části na kotevní bloky a v horní části k prstenci. Žebra jsou průřezu 100 x 400 mm, poloměr zakřivení střednice je 10,218 m a jejich střednicové délky činí 12,66 m.

5.1.4 ZTUŽIDLA

Jsou tvořena diagonálními ocelovými táhly Macalloy 460 o průměru Ø 19 mm osazenými v místech vaznic pomocí koncovek FA20 a čepu PA20 systému Macalloy 460 na plechy připevněné na žebra.

5.1.5 PRSTENEC

Je tvořen polygonálně lomeným obloukem z válcovaných profilů UPE 300 z oceli S355. Pruty jsou vzájemně svařeny tupými svary s plným provařením.

5.2 POPIS PRVKŮ KONSTRUKCE HALY

5.2.1 STŘEŠNÍ PLÁŠŤ

Nosnou část střešního pláště tvoří překližované desky DYAS MULTIPLEX – třída lepení 1, rozměr desek 2 500 x 1 250 x 30 mm, tvořící bednění osazené vedle sebe na sraz na vaznice. Krajiní desky bude nutno oříznout pro dosažení přesného tvaru konstrukce. Na tyto desky budou dále kladeny vrstvy střešního pláště – viz C.2.1.2.

5.2.2 STŘEŠNÍ VAZNICE

Jsou zhotoveny z lepeného lamelového dřeva GL24h a staticky budou působit jako prosté nosníky osazené do třmenů připevněných na žebra. Vaznice jsou 2 typů, 3 řady vaznic ve střední části haly jsou průřezu 160 x 280 mm a 3 řady vaznic v části haly, která je blíže ke kopuli, jsou průřezu 160 x 240 mm. Osově vzdálenosti vaznic činí 1,15 m a jejich rozpětí se pohybují od 4,04 m do 6,24 m.

5.2.3 STĚNOVÉ VAZNICE

Jsou zhotoveny z lepeného lamelového dřeva GL24h a staticky budou působit jako nosníky osazené na plechy připevněné na žebra a podepírané uprostřed svislicemi a ve čtvrtinách diagonálami. Vaznice jsou průřezu

120 x 240 mm. Osově vzdálenosti vaznic činí 1,20 m a jejich rozpětí se pohybují od 6,52 m do 6,82 m.

5.2.4 STĚNOVÉ DIAGONÁLY A SVISLICE

Jsou zhotoveny z rostlého dřeva C18 a staticky budou působit jako nosníky osazené na plechy připevněné na stěnové vaznice a žebra a společně se stěnovými vaznicemi tak budou vytvářet příhradový systém. Diagonály a svislice jsou průřezu 100 x 100 mm. Délky diagonál se pohybují od 1,98 m do 2,02 m a délky svislic jsou 1,08 m.

5.2.5 STŘEŠNÍ ŽEBRA

Jsou zhotoveny z lepeného lamelového dřeva GL24h a staticky budou působit jako součásti rámu, na jedné straně spojené rámovými rohy se stěnovými žebry a na druhé straně osazené pomocí čepových spojů na kotevní bloky. Žebra jsou sedlového tvaru průřezu 160 x 400 / 800 mm a délka činí 7,50 m.

5.2.6 STĚNOVÉ ŽEBRA

Jsou zhotoveny z lepeného lamelového dřeva GL24h a staticky budou působit jako součásti rámu, na jedné straně spojené rámovými rohy se střešními žebry a na druhé straně osazené pomocí čepových spojů na betonové patky. Žebra jsou sedlového tvaru tvořená 2 dílky průřezu 2 x 80 x 400 / 800 mm a délka činí 4,10 m.

5.2.7 SLOUPY

Jsou zhotoveny z lepeného lamelového dřeva GL24h a staticky budou působit jako prosté nosníky osazené kloubově v dolní části na základové pasy a v horní části ke střešním žebřům s umožněním svislého posunu. Sloupy jsou průřezu 80 x 200 mm a jejich délky se pohybují od 2,63 m do 4,18 m.

5.3 POPIS SPOJŮ KONSTRUKCE KOPULE A HALY

5.3.1 KOTVENÍ ŽEBRA KOPULE A HALY

Kloubové uložení žebra kopule a haly je provedeno pomocí ocelového čepu Ø 30 x 50 procházejícího trojicí plechů. Plechy vsazené do drážek v žebrech kopule a haly jsou tloušťky 14 mm a jsou zajištěny v žebrech kopule 4 svorníky M16 x 160 a 4 kolíky Ø 16 x 100 a v žebrech haly 4 svorníky M16 x 220 a 4 kolíky Ø 16 x 160. Dvojice plechů v dolní části jsou tloušťky 8 mm a jsou přivařeny k patnímu plechu tloušťky 10 mm kotvenému do železobetonového bloku z betonu C25/30 pomocí 4 kotevních šroubů HIT-Z M16 x 240 kotvených do otvorů opatřených lepící hmotou HIT-HY 200-A. Na patní plech je dále ze spodní strany přivařena smyková zarážka IPE 100, pro kterou bude v kotevním bloku vynechána kapsa a která bude po osazení zalita víceúčelovou maltou HILTI, která bude vytvářet i podlití pod patním plechem tloušťky 30 mm.

5.4 POPIS SPOJŮ KONSTRUKCE KOPULE

5.4.1 KOTVENÍ ŽEBRA KOPULE

Kloubové uložení žebra kopule je provedeno pomocí ocelového čepu Ø 30 x 50 procházejícího trojicí plechů. Plech vsazený do drážky v žebrech kopule je tloušťky 14 mm a je zajištěn 4 svorníky M16 x 160 a 4 kolíky Ø 16 x 100. Dvojice plechů v dolní části jsou tloušťky 8 mm a jsou přivařeny k patnímu plechu tloušťky 10 mm kotvenému do železobetonového bloku z betonu C25/30 pomocí 4 kotevních šroubů HIT-Z M16 x 240 kotvených do otvorů opatřených lepící hmotou HIT-HY 200-A. Na patní plech je dále ze spodní strany přivařena smyková zarážka IPE 100, pro kterou bude v kotevním bloku vynechána kapsa a která

bude po osazení zalita víceúčelovou maltou HILTI, která bude vytvářet i podlití pod patním plechem tloušťky 30 mm.

5.4.2 ULOŽENÍ ŽEBRA KOPULE NA PRSTENEC

Kloubové uložení žebra kopule na prstenec je provedeno pomocí svorníku M20 x 170 procházejícího čtveřicí plechů. Dvojice plechů osazených na žebro kopule jsou tloušťky 8 mm a jsou zajištěny 3 svorníky M12 x 160. Dvojice plechů osazených na prstenec jsou tloušťky 8 mm a jsou přivařeny k prstenci tvořeného polygonálně lomeným obloukem z válcovaných profilů UPE 300.

5.4.3 SPOJ PRSTENCE

Spoj je tvořen tupým svarem s plným provařením mezi každými dvěma přímými pruty z válcovaného profilu UPE 300, vytváří se tak polygonálně lomený tvar prstence.

5.4.4 ULOŽENÍ VAZNICE KOPULE SE ZTUŽIDLY NA ŽEBRO

Spoj je tvořen plechem tloušťky 12 mm, na který je kloubově připojeno pomocí čepu PA20 táhlo ztužidla a pomocí 2 svorníků M12 x 240 vaznice kopule, do které je plech vsazen prostřednictvím drážky. Tento plech je přivařen na styčnickový plech tloušťky 6 mm, který je osazen na stěnu žebra kopule a s dalším styčnickovým plechem osazeným na odvrácené stěně žebra kopule je zajištěn 4 svorníky M16 x 160.

5.4.5 ULOŽENÍ VAZNICE KOPULE NA ŽEBRO

Spoj je tvořen zkoseným třmenem tloušťky 3 mm vytvořeným ohýbáním plechu o rozměrech 530 x 190 mm nebo 450 x 190 mm a k tomuto třmenu je uchycena vaznice kopule pomocí 16 vrutů Ø 5 x 60. Třmen je přivařen na styčnickový plech tloušťky 6 mm, který je osazen na stěnu žebra kopule a s dalším styčnickovým plechem osazeným na odvrácené stěně žebra kopule je zajištěn 4 svorníky M16 x 160.

5.5 POPIS SPOJŮ KONSTRUKCE HALY

5.5.1 RÁMOVÝ ROH

Spoj je tvořen tuhým spojením střešního žebra vsazeného mezi 2 dřívky stěnových žebor zajištěných 5 svorníky M20 x 400 a 20 kolíky Ø 20 x 320. Svorníky a kolíky jsou soustředěny ve 2 kruzích o poloměrech 200 a 300 mm.

5.5.2 KOTVENÍ ŽEBRA HALY

Kloubové uložení žebra haly je provedeno pomocí svorníku M24 x 220 procházejícího čtveřicí plechů. Dvojice plechů osazených na vnitřní stěny dřívů žebra haly jsou tloušťky 10 mm a jsou zajištěny 4 svorníky M12 x 380 a 8 kolíky Ø 12 x 320 procházejícími dvojicí plechů, dřívky žebra haly a dřevěnou vložkou. Dvojice plechů v dolní části jsou tloušťky 10 mm a jsou přivařeny k patnímu plechu tloušťky 10 mm kotvenému do základové patky z betonu C20/25 pomocí 2 kotevních šroubů HIT-Z M16 x 240 kotvených do otvorů opatřených lepící hmotou HIT-HY 200-A. Na patní plech je dále ze spodní strany přivařena smyková zářezka IPE 100, pro kterou bude v základové patce vynechána kapsa a která bude po osazení zalita víceúčelovou maltou HILTI, která bude vytvářet i podlití pod patním plechem tloušťky 20 mm.

5.5.3 ULOŽENÍ STĚNOVÉ VAZNICE

Spoj je tvořen plechem tloušťky 8 mm, na který je kloubově připojena pomocí svorníku M16 x 300 stěnová vaznice a pomocí svorníku M16 x 160 diagonála, plech je do stěnové vaznice a diagonály vsazen prostřednictvím drážky. Tento plech je přivařen na styčnickový plech tloušťky 8 mm, který je osazen na stěnu dřívku žebra haly a s dalším styčnickovým plechem osazeným na odvrácené stěně druhého dřívku žebra haly je

zajištěn 4 svorníky M12 x 380. Tyto svorníky procházejí oběma dřívky žebra haly a dřevěnou vložkou a v každé střížné ploše jsou doplněny hmoždíky BULLDOG 50/17.

5.5.4 ULOŽENÍ STŘEŠNÍ VAZNICE

Spoj je tvořen zkoseným třmenem tloušťky 3 mm vytvořeným ohýbáním plechu o rozměrech 650 x 120 mm nebo 730 x 120 mm a k tomuto třmenu je uchycena střešní vaznice pomocí 6 vrutů Ø 4 x 40. Třmen je přivařen na styčnickový plech tloušťky 3 mm, který je osazen na stěnu žebra haly, ke které je uchycen pomocí 8 vrutů Ø 5 x 60.

5.5.5 KOTVENÍ SLOUPU

Kloubové uložení sloupu je provedeno pomocí svorníku M16 x 140 procházejícího dvojicí plechů a patou sloupu. Dvojice plechů jsou tloušťky 6 mm a jsou přivařeny k patnímu plechu tloušťky 6 mm kotvenému do základového pasu z betonu C20/25 pomocí 2 kotevních šroubů HIT-Z M16 x 240 kotvených do otvorů opatřených lepicí hmotou HIT-HY 200-A. Pod patním plechem bude podlití tloušťky 20 mm pomocí víceúčelové malty HILTI.

5.5.6 ULOŽENÍ SLOUPU NA ŽEBRO

Kloubové uložení sloupu je provedeno pomocí svorníku M16 x 140 procházejícího dvojicí plechů a hlavou sloupu. Dvojice plechů jsou tloušťky 3 mm a jsou přivařeny ke styčnickovému plechu tloušťky 3 mm, který je osazen na stěnu žebra haly, ke které je uchycen pomocí 4 vrutů Ø 5 x 60.

5.6 SPODNÍ STAVBA

Spodní stavba je řešena radiálně uspořádanými základovými patkami z betonu C20/25, do kterých jsou vetknuty železobetonové kotevní bloky a do kterých jsou kotveny žebra haly. Železobetonové kotevní bloky jsou z betonu C25/30 a slouží pro kotvení žebek kopule a haly. Základové patky jsou vzájemně spojeny základovými pasy z betonu C20/25, do kterých jsou ve štítových stěnách haly kotveny sloupky.

Návrh základových konstrukcí není předmětem této diplomové práce, proto jsou rozměry uvedené ve výkresové dokumentaci pouze orientační.

6 VÝROBA

Výroba žebek, vaznic a sloupů z lepeného lamelového dřeva se provede z řeziva tloušťky 40 mm, které se vysuší na vlhkost nejvýše 15 %. Po vysušení se řezivo frézuje a třídí. Přířezy se na čelních koncích opatří zubovitým spojem a po nanesení lepidla se spojí v tzv. nekonečnou lamelu. Z výsledné nekonečné lamely se odřezají lamely požadované délky a uloží se do hrání. Lamely se znovu frézují, nanese se lepidlo, lamely se uloží nastojato vedle sebe a zalisují se. Lisovací přípravky umožňují výrobu přímých nosníků pro vytvoření vaznic a sloupů, výrobu sedlových nosníků pro vytvoření žebek haly a výrobu zakřivených nosníků pro vytvoření žebek kopule. Výroba vaznic, diagonál a svislic bude z hraněného řeziva vysušeného na vlhkost nejvýše 15 %.

7 MONTÁŽ

V první fázi výstavby se provede betonáž základových patek a pasů, u základových patek kopule se zabetonuje i betonářská výztuž sloužící k napřesahování s armaturou kotevních bloků. Vytvoří se armatura pro kotevní bloky a ta se osadí na základové patky kopule a provede se betonáž. Po dostatečném vyžrání základových konstrukcí se osadí kotevní prvky dle geodetického zaměření za pomoci kotevních šroubů do dodatečně vyvrtaných otvorů opatřených lepicí hmotou.

V druhé fázi výstavby se pomocí autojeřábu postupně osadí 2 střední žebra haly a zajistí se čepy a svorníky. Mezi těmito 2 žebry se osadí střešní a stěnové vaznice společně se stěnovými diagonálami a svislicemi. Následně se osadí i 2 krajní žebra haly a osadí se zbylé vaznice. Na závěr se osadí i štítové sloupy haly a zajistí se při hlavách a patách sloupů svorníky.

V třetí fázi výstavby se vytvoří montážní lešení ve středu kopule, které je nutno dostatečně zavětrovat a zakotvit. Na toto montážní lešení se připraví prstenec. Pomocí 1. autojeřábu se vyzdvihne ztužidlové žebro kopule a pomocí čepu se osadí na kotevní blok. Stejným způsobem pomocí 2. autojeřábu se osadí i protilehlé ztužidlové žebro kopule. Na závěr se tyto 2 žebra osadí současně pomocí svorníků na prstenec umístěný na montážním lešení. Stejný postup se použije i pro sousední ztužidlová žebra. Mezi těmito 2 páry ztužidlových žebor se osadí vaznice a diagonální táhla. Stejným způsobem se osadí i další 2 páry ztužidlových žebor včetně vaznic a diagonální táhel. Na závěr se osadí i zbylá žebra kopule a to tak, že montáž probíhá vždy po 2 protilehlých žebrech, aby byla v prstenci zachována rovnováha sil. Po každém osazení žebor se mezi žebry provede osazení vaznic.

V poslední fázi výstavby se provede montáž nosných překližovaných desek na horní líc vaznic a na ně se osadí skladba střešního pláště. Na spodní líc vaznic kopule se dále osadí konstrukce pro zavěšení plátna a na spodní líc vaznic haly konstrukce podhledu. Také se vytvoří skleněná fasáda uchycená na štítové sloupy a to dle pokynů výrobce.

8 OCHRANA KONSTRUKCE

8.1 OCHRANA DŘEVĚNÝCH PRVKŮ

Všechny dřevěné prvky konstrukce se opatří impregnací proti škůdcům, dřevokaznému hmyzu a houbám. Dřevo se také ošetří chemickým postřikem pro snížení jeho hořlavosti a šíření ohně. Povrch bude opatřen nátěrem bezbarvého laku. Veškerá ochrana bude provedena v souladu s normou ČSN EN 460 a ČSN EN 351-1. Při montáži budou všechny dřevěné prvky vysušeny na vlhkost 15 %.

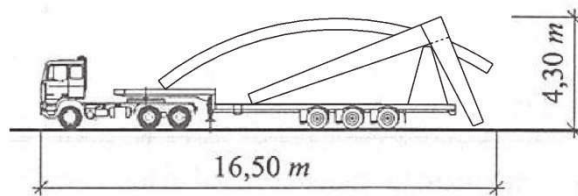
8.2 OCHRANA KOVOVÝCH PRVKŮ

Všechny kovové prvky konstrukce se opatří žárovým zinkováním jako ochrana proti korozi dle ČSN EN ISO 1461.

9 DOPRAVA

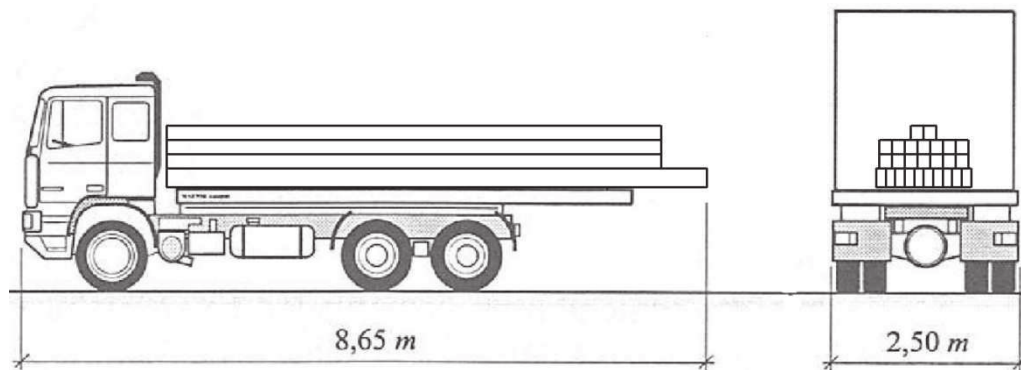
| prvky | maximální délka | maximální vzepětí |
|--------------|-----------------|-------------------|
| žebra kopule | 12,10 m | 2,26 m |
| žebra haly | 8,56 m | 3,60 m |
| vaznice | 6,82 m | — |
| sloupy | 4,18 m | — |

Pro přepravu obloukových a rámových žebor bude použit tahač s valníkovým návěsem (viz obr. 6), které je vhodné pro krátké nosníky s velkým vzepětím.



obr. 6 – tahač s valníkovým návěsem

Pro přepravu vaznic, sloupů a ostatních prvků bude použito třinápravové nákladní auto (viz obr. 7).



obr. 7 – třinápravové nákladní auto

Transport nebude přesahovat délku 25 m ani šířku 3 m a tudíž nebude potřeba policejní doprovod.

10 VÝKAZ MATERIÁLU

| | | |
|---|-------------------------|--------|
| konstrukční prvky kopule ⁽¹⁾ | [kg] | 56 515 |
| spojovací prvky kopule ⁽¹⁾ | [kg] | 1 538 |
| konstrukční prvky haly ⁽²⁾ | [kg] | 24 580 |
| spojovací prvky haly ⁽³⁾ | [kg] | 319 |
| spojovací materiál ⁽⁴⁾ | [kg] | 2 489 |
| celková hmotnost | [kg] | 85 440 |
| plocha konstrukce | [m ²] | 470,87 |
| plošná hmotnost zastřešení | [kg / m ²] | 181,5 |

(1) (2) (3)

viz tabulky níže

(4)

uvažováno jako 3 % celkové hmotnosti

| prvek konstrukce | materiál | šířka b [mm] | výška h [mm] | průměr Ø [mm] | délka L [mm] | počet [ks] | plocha S [m²] | objem V [m³] | obj. hm. ρ [kg/m³] | hmotnost m [kg/ks] | hmotnost M [kg] |
|-------------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------|---------------|------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| střešní plášť | – | – | – | – | – | – | 534,316 | – | – | – | 21 480 |
| bednění | překližka | – | 50 | – | – | – | 528,490 | – | 720 | – | 19 026 |
| podhled | – | – | – | – | – | – | 488,686 | – | – | – | 9 774 |
| žebra kopule A | GL24h | 100 | 400 | – | 12 910 | 16 | – | 8,262 | 380 | 196 | 3 140 |
| vaznice kopule D1 | C24 | 160 | 180 | – | 3 830 | 16 | – | 1,765 | 350 | 38,6 | 618 |
| vaznice kopule D2 | | | | – | 3 560 | 16 | – | 1,640 | | 35,9 | 574 |
| vaznice kopule D3 | | | | – | 3 150 | 16 | – | 1,452 | | 31,8 | 508 |
| vaznice kopule D4 | | | | – | 2 620 | 16 | – | 1,207 | | 26,4 | 423 |
| vaznice kopule D5 | C24 | 120 | 160 | – | 1 990 | 16 | – | 0,611 | 350 | 13,4 | 214 |
| vaznice kopule D6 | | | | – | 1 280 | 16 | – | 0,393 | | 8,60 | 138 |
| vaznice kopule D7 | | | | – | 530 | 16 | – | 0,163 | | 3,56 | 57,0 |
| ztužidla K | S460 | – | – | 19 | 35 020 | 4 | – | 0,040 | 7850 | 77,9 | 312 |
| prstenec L | S355 | 100 | 300 | – | 5 680 | 1 | – | 0,032 | | 252 | 252 |
| hmotnost konstrukčních prvků kopule | | | | | | | | | | | 56 515 |
| prvek spoje | materiál | šířka b [mm] | výška h [mm] | tloušťka t [mm] | počet [ks/spoj] | počet [ks] | plocha S [m²] | objem V [m³] | obj. hm. ρ [kg/m³] | hmotnost m [kg/ks] | hmotnost M [kg] |
| P14 – 400x260 | S235 | 400 | 260 | 14 | 1 | 16 | 0,0838 | 0,01880 | 7850 | 9,20 | 147,3 |
| P8 – 320x150 | | 320 | 150 | 8 | 2 | 8 | 0,0390 | 0,00250 | | 2,45 | 19,6 |
| P10 – 320x280 | | 320 | 280 | 10 | 1 | 4 | – | 0,00358 | | 7,03 | 28,1 |
| P8 – 200x150 | | 200 | 150 | 8 | 2 | 24 | 0,0210 | 0,00403 | | 1,32 | 31,7 |
| P10 – 280x280 | | 280 | 280 | 10 | 1 | 12 | – | 0,00941 | | 6,15 | 73,9 |
| P8 – 300x120 | | 300 | 120 | 8 | 2 | 32 | 0,0330 | 0,00845 | | 2,07 | 66,3 |
| P8 – 200x120 | | 200 | 120 | 8 | 2 | 32 | 0,0162 | 0,00415 | | 1,02 | 32,6 |
| P12 – 350x110 | S355 | 350 | 110 | 12 | 1 | 32 | 0,0347 | 0,01330 | | 3,27 | 105 |
| P3 – 530x190 | S235 | 530 | 190 | 3 | 1 | 96 | 0,0842 | 0,02420 | | 1,98 | 190 |
| P6 – 340x200 | | 340 | 200 | 6 | 1 | 128 | – | 0,05220 | | 3,20 | 410 |
| P12 – 310x110 | S355 | 310 | 110 | 12 | 1 | 24 | 0,0303 | 0,00873 | | 2,86 | 68,5 |
| P3 – 450x190 | S235 | 450 | 190 | 3 | 1 | 72 | 0,0714 | 0,01540 | | 1,68 | 121 |
| P6 – 300x180 | | 300 | 180 | 6 | 1 | 96 | – | 0,03110 | | 2,54 | 244 |
| hmotnost spojovacích prvků kopule | | | | | | | | | | | 1 538 |

tab. 1 – konstrukční a spojovací prvky kopule

| prvek konstrukce | materiál | šířka b [mm] | výška h [mm] | průměr Ø [mm] | délka L [mm] | počet [ks] | plocha S [m²] | objem V [m³] | obj. hm. ρ [kg/m³] | hmotnost m [kg/ks] | hmotnost M [kg] |
|-----------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|---------------|------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| střešní plášť | – | – | – | – | – | – | 208,879 | – | – | – | 8 397 |
| bednění | překližka | – | 30 | – | – | – | 207,506 | – | 750 | – | 4 669 |
| podhled | – | – | – | – | – | – | 195,032 | – | – | – | 3 900 |
| skleněná fasáda | sklo | – | – | – | – | – | 52,360 | – | – | – | 3 142 |
| střešní žebro B | GL24h | 160 | 400 / 800 | – | 7 500 | 4 | – | 2,880 | 380 | 274 | 1 094 |
| stěnové žebro C | GL24h | 2 x 80 | 400 / 800 | – | 4 100 | 4 | – | 1,574 | | 150 | 598 |
| střešní vaznice E1 | GL24h | 160 | 280 | – | 6 240 | 3 | – | 0,839 | 380 | 106 | 319 |
| střešní vaznice E2 | | | | – | 5 800 | 3 | – | 0,780 | | 98,7 | 296 |
| střešní vaznice E3 | | | | – | 5 360 | 3 | – | 0,720 | | 91,2 | 274 |
| střešní vaznice E4 | | 160 | 240 | – | 4 920 | 3 | – | 0,567 | 380 | 71,8 | 215 |
| střešní vaznice E5 | | | | – | 4 480 | 3 | – | 0,516 | | 65,4 | 196 |
| střešní vaznice E6 | | | | – | 4 040 | 3 | – | 0,465 | | 59,0 | 177 |
| stěnová vaznice F1 | GL24h | 120 | 240 | – | 6 820 | 3 | – | 0,589 | 380 | 74,6 | 224 |
| stěnová vaznice F2 | | | | – | 6 720 | 3 | – | 0,581 | | 73,5 | 221 |
| stěnová vaznice F3 | | | | – | 6 620 | 3 | – | 0,572 | | 72,4 | 217 |
| stěnová vaznice F4 | | | | – | 6 520 | 3 | – | 0,563 | | 71,4 | 214 |
| stěnová diag. G1 | C18 | 100 | 100 | – | 2 020 | 12 | – | 0,242 | 320 | 6,46 | 77,6 |
| stěnová diag. G2 | | | | – | 2 000 | 12 | – | 0,240 | | 6,40 | 76,8 |
| stěnová diag. G3 | | | | – | 1 980 | 12 | – | 0,238 | | 6,34 | 76,0 |
| stěnová svislice H | | | | – | 1 080 | 9 | – | 0,097 | | 3,46 | 31,1 |
| sloup I1, J1 | GL24h | 80 | 200 | – | 4 180 | 2 | – | 0,134 | 380 | 25,4 | 50,8 |
| sloup I2, J2 | | | | – | 3 670 | 2 | – | 0,117 | | 22,3 | 44,6 |
| sloup I3, J3 | | | | – | 3 150 | 2 | – | 0,101 | | 19,2 | 38,3 |
| sloup I4, J4 | | | | – | 2 630 | 2 | – | 0,084 | | 16,0 | 32,0 |
| hmotnost konstrukčních prvků haly | | | | | | | | | | | 24 580 |

tab. 2 – konstrukční prvky haly

| prvek spoje | materiál | šířka b [mm] | výška h [mm] | tloušťka t [mm] | počet [ks/spoj] | počet [ks] | plocha S [m ²] | objem V [m ³] | obj. hm. ρ [kg/m ³] | hmotnost m [kg/ks] | hmotnost M [kg] |
|---------------------------------|----------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------|---------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------|--------------------|
| P14 – 400x260 | S235 | 400 | 260 | 14 | 1 | 4 | 0,0838 | 0,00470 | 7850 | 9,20 | 36,8 |
| P10 – 350x200 | | 350 | 200 | 10 | 2 | 8 | 0,0567 | 0,00454 | | 4,45 | 35,6 |
| P10 – 160x135 | | 160 | 135 | 10 | 2 | 8 | 0,0149 | 0,00119 | | 1,17 | 9,33 |
| P10 – 280x160 | | 280 | 160 | 10 | 1 | 4 | – | 0,00179 | | 3,52 | 14,1 |
| P8 – 260x160 | | 260 | 160 | 8 | 1 | 18 | – | 0,00599 | | 2,61 | 47,0 |
| P8 – 260x200 | | 260 | 200 | 8 | 1 | 18 | – | 0,00749 | | 3,27 | 58,8 |
| P8 – 210x160 | | 210 | 160 | 8 | 1 | 6 | – | 0,00161 | | 2,11 | 12,7 |
| P8 – 220x210 | | 220 | 210 | 8 | 1 | 6 | – | 0,00222 | | 2,90 | 17,4 |
| P8 – 350x220 | | 350 | 220 | 8 | 1 | 3 | – | 0,00185 | | 4,84 | 14,5 |
| P3 – 650x120 | | 650 | 120 | 3 | 1 | 18 | 0,0517 | 0,00279 | | 1,22 | 21,9 |
| P3 – 730x120 | | 730 | 120 | 3 | 1 | 18 | 0,0581 | 0,00314 | | 1,37 | 24,6 |
| P6 – 180x80 | | 180 | 80 | 6 | 2 | 16 | – | 0,00138 | | 0,678 | 10,9 |
| P6 – 220x80 | | 220 | 80 | 6 | 1 | 8 | – | 0,00085 | | 0,829 | 6,63 |
| P3 – 150x100 | | 150 | 100 | 3 | 2 | 16 | – | 0,00072 | | 0,353 | 5,65 |
| P3 – 160x100 | | 160 | 100 | 3 | 1 | 8 | – | 0,00038 | | 0,377 | 3,01 |
| hmotnost spojovacích prvků haly | | | | | | | | | | | 319 |

tab. 3 – spojovací prvky haly



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

B STATICKÝ VÝPOČET - KOPULE

STRUCTURAL DESIGN REPORT - DOME

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radek Vojta

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. STANISLAV BUCHTA, Ph.D.

BRNO 2017

OBSAH

| | | |
|-------|-----------------------------------|----|
| 1 | GEOMETRIE KONSTRUKCE | 6 |
| 2 | ZATÍŽENÍ..... | 7 |
| 2.1 | STÁLÉ ZATÍŽENÍ | 7 |
| 2.1.1 | VLASTNÍ TÍHA..... | 7 |
| 2.1.2 | STŘEŠNÍ PLÁŠŤ | 7 |
| 2.1.3 | PODHLÉD | 7 |
| 2.2 | PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ..... | 7 |
| 2.2.1 | SNÍH..... | 7 |
| 2.2.2 | VÍTR..... | 10 |
| 3 | KOMBINACE ZATÍŽENÍ..... | 14 |
| 3.1 | ZATĚŽOVACÍ STAVY..... | 14 |
| 3.2 | MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI | 14 |
| 3.3 | MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI | 15 |
| 4 | POSOUZENÍ PRVKŮ – VARIANTA A..... | 17 |
| 4.1 | STŘEŠNÍ PLÁŠŤ..... | 17 |
| 4.1.1 | GEOMETRIE | 17 |
| 4.1.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 17 |
| 4.1.3 | ZATÍŽENÍ..... | 18 |
| 4.1.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 18 |
| 4.1.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 19 |
| 4.1.6 | POSOUZENÍ – MSP | 20 |
| 4.2 | VAZNICE..... | 21 |
| 4.2.1 | GEOMETRIE | 21 |
| 4.2.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 21 |
| 4.2.3 | ZATÍŽENÍ..... | 22 |
| 4.2.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 22 |
| 4.2.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 23 |
| 4.2.6 | POSOUZENÍ – MSP | 25 |
| 4.3 | ŽEBRA | 28 |
| 4.3.1 | GEOMETRIE | 28 |
| 4.3.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 28 |
| 4.3.3 | ZATÍŽENÍ..... | 29 |
| 4.3.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 29 |

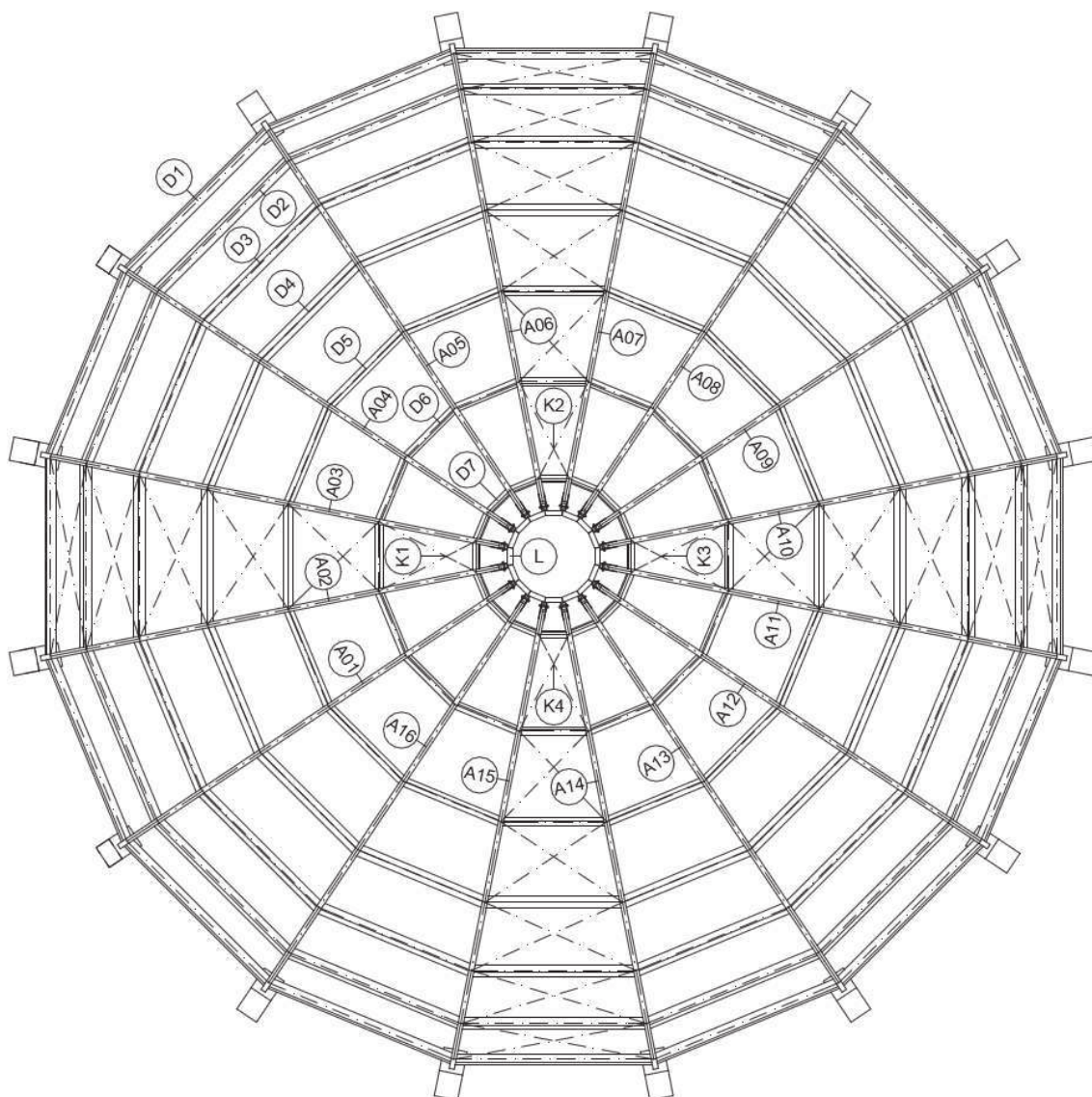
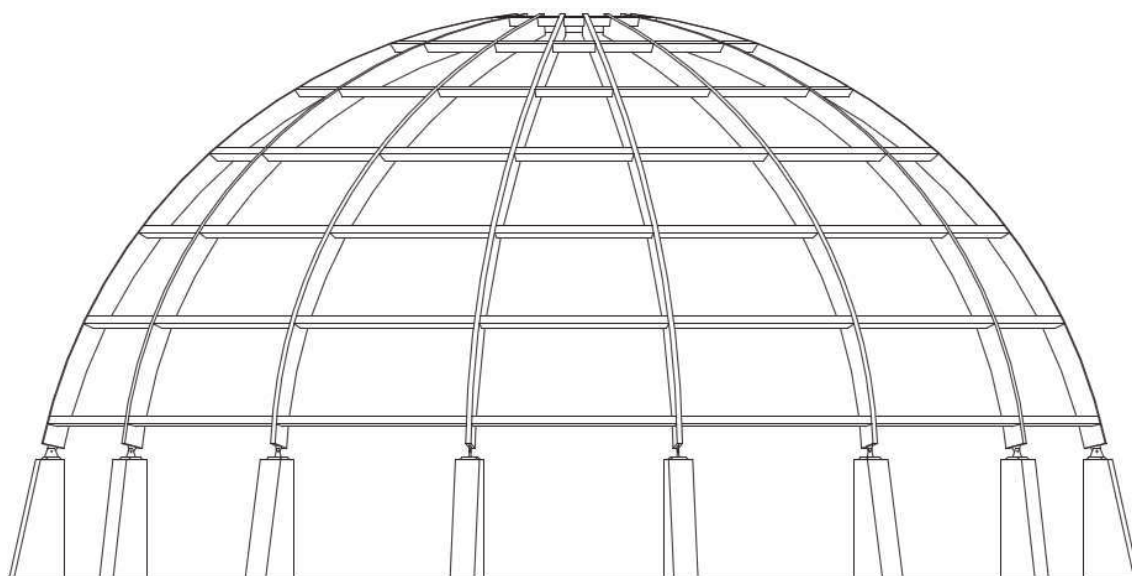
| | | |
|-------|------------------------------------|----|
| 4.3.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 29 |
| 4.3.6 | POSOUZENÍ – MSP | 35 |
| 4.4 | ZTUŽIDLA | 36 |
| 4.4.1 | GEOMETRIE | 36 |
| 4.4.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 36 |
| 4.4.3 | ZATÍŽENÍ | 36 |
| 4.4.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 36 |
| 4.4.5 | STABILIZUJÍCÍ SÍLY | 36 |
| 4.4.6 | POSOUZENÍ – MSÚ | 36 |
| 4.5 | PRSTENEC | 37 |
| 4.5.1 | GEOMETRIE | 37 |
| 4.5.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 37 |
| 4.5.3 | ZATÍŽENÍ | 37 |
| 4.5.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 38 |
| 4.5.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 38 |
| 5 | POSOUZENÍ PRVKŮ – VARIANTA B | 44 |
| 5.1 | STŘEŠNÍ PLÁŠŤ | 44 |
| 5.2 | HORNÍ PÁSY VAZNIC | 44 |
| 5.2.1 | GEOMETRIE | 44 |
| 5.2.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 44 |
| 5.2.3 | ZATÍŽENÍ | 45 |
| 5.2.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 45 |
| 5.2.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 47 |
| 5.2.6 | POSOUZENÍ – MSP | 50 |
| 5.3 | DOLNÍ PÁSY VAZNIC | 53 |
| 5.3.1 | GEOMETRIE | 53 |
| 5.3.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 53 |
| 5.3.3 | ZATÍŽENÍ | 54 |
| 5.3.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 54 |
| 5.3.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 55 |
| 5.3.6 | POSOUZENÍ – MSP | 56 |
| 5.4 | DIAGONÁLY VAZNIC | 57 |
| 5.4.1 | GEOMETRIE | 57 |
| 5.4.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 57 |
| 5.4.3 | ZATÍŽENÍ | 58 |

| | | |
|-------|-----------------------------------|----|
| 5.4.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 58 |
| 5.4.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 59 |
| 5.4.6 | POSOUZENÍ – MSP | 60 |
| 5.5 | HORNÍ PÁSY ŽEBER | 61 |
| 5.5.1 | GEOMETRIE | 61 |
| 5.5.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 61 |
| 5.5.3 | ZATÍŽENÍ | 62 |
| 5.5.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 62 |
| 5.5.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 62 |
| 5.5.6 | POSOUZENÍ – MSP | 66 |
| 5.6 | DOLNÍ PÁSY ŽEBER | 67 |
| 5.6.1 | GEOMETRIE | 67 |
| 5.6.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 67 |
| 5.6.3 | ZATÍŽENÍ | 68 |
| 5.6.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 68 |
| 5.6.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 68 |
| 5.6.6 | POSOUZENÍ – MSP | 71 |
| 5.7 | DIAGONÁLY A SVISLICE ŽEBER | 72 |
| 5.7.1 | GEOMETRIE | 72 |
| 5.7.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 72 |
| 5.7.3 | ZATÍŽENÍ | 73 |
| 5.7.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 73 |
| 5.7.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 74 |
| 5.7.6 | POSOUZENÍ – MSP | 75 |
| 5.8 | ZTUŽIDLA | 76 |
| 5.8.1 | GEOMETRIE | 76 |
| 5.8.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 76 |
| 5.8.3 | ZATÍŽENÍ | 76 |
| 5.8.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 76 |
| 5.8.5 | STABILIZUJÍCÍ SÍLY | 76 |
| 5.8.6 | POSOUZENÍ – MSÚ | 76 |
| 5.9 | PRSTENEC | 77 |
| 5.9.1 | GEOMETRIE | 77 |
| 5.9.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 77 |
| 5.9.3 | ZATÍŽENÍ | 77 |

| | | |
|-------|------------------------------------|-----|
| 5.9.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 78 |
| 5.9.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 78 |
| 6 | POSOUZENÍ PRVKŮ – VARIANTA C | 83 |
| 6.1 | STŘEŠNÍ PLÁŠŤ | 83 |
| 6.2 | HORNÍ PÁSY VAZNIC | 83 |
| 6.2.1 | GEOMETRIE | 83 |
| 6.2.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 83 |
| 6.2.3 | ZATÍŽENÍ | 84 |
| 6.2.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 84 |
| 6.2.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 86 |
| 6.2.6 | POSOUZENÍ – MSP | 90 |
| 6.3 | DOLNÍ PÁSY VAZNIC | 92 |
| 6.3.1 | GEOMETRIE | 92 |
| 6.3.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 92 |
| 6.3.3 | ZATÍŽENÍ | 93 |
| 6.3.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 93 |
| 6.3.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 94 |
| 6.3.6 | POSOUZENÍ – MSP | 95 |
| 6.4 | DIAGONÁLY VAZNIC | 96 |
| 6.4.1 | GEOMETRIE | 96 |
| 6.4.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 96 |
| 6.4.3 | ZATÍŽENÍ | 97 |
| 6.4.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 97 |
| 6.4.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 98 |
| 6.4.6 | POSOUZENÍ – MSP | 99 |
| 6.5 | HORNÍ PÁSY ŽEBER | 100 |
| 6.5.1 | GEOMETRIE | 100 |
| 6.5.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 100 |
| 6.5.3 | ZATÍŽENÍ | 101 |
| 6.5.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 101 |
| 6.5.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 101 |
| 6.5.6 | POSOUZENÍ – MSP | 105 |
| 6.6 | DOLNÍ PÁSY ŽEBER | 106 |
| 6.6.1 | GEOMETRIE | 106 |
| 6.6.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 106 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 6.6.3 | ZATÍŽENÍ | 107 |
| 6.6.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 107 |
| 6.6.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 107 |
| 6.6.6 | POSOUZENÍ – MSP | 112 |
| 6.7 | DIAGONÁLY A SVISLICE ŽEBER | 113 |
| 6.7.1 | GEOMETRIE | 113 |
| 6.7.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 113 |
| 6.7.3 | ZATÍŽENÍ | 114 |
| 6.7.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 114 |
| 6.7.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 115 |
| 6.7.6 | POSOUZENÍ – MSP | 116 |
| 6.8 | ZTUŽIDLA | 117 |
| 6.8.1 | GEOMETRIE | 117 |
| 6.8.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 117 |
| 6.8.3 | ZATÍŽENÍ | 117 |
| 6.8.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 117 |
| 6.8.5 | STABILIZUJÍCÍ SÍLY | 117 |
| 6.8.6 | POSOUZENÍ – MSÚ | 117 |
| 6.9 | PRSTENEC | 118 |
| 6.9.1 | GEOMETRIE | 118 |
| 6.9.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 118 |
| 6.9.3 | ZATÍŽENÍ | 118 |
| 6.9.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 119 |
| 6.9.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 119 |
| 7 | PŘÍLOHY | 124 |
| 7.1 | PŘEKLIŽOVANÉ DESKY DYAS MULTIPLEX | 125 |
| 7.2 | SYSTÉM KONSTRUKČNÍCH TÁHEL MACALLOY 460 | 126 |

1 GEOMETRIE KONSTRUKCE



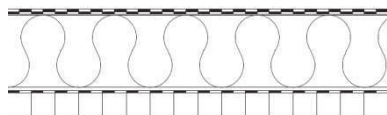
2 ZATÍŽENÍ

2.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ

2.1.1 VLASTNÍ TÍHA

$g_{0,k}$ – generováno softwarem RFEM

2.1.2 STŘEŠNÍ PLÁŠŤ



skladba střešního pláště

| vrstva | objemová tíha [KN/m ³] | tloušťka [mm] | plošná tíha [KN/m ²] |
|--|---------------------------------------|------------------|-------------------------------------|
| titanzinkový plech | 72 | 0,8 | 0,058 |
| oxidovaný asf. pás DEK R13 | | 1,3 | 0,014 |
| modifikovaný asf. pás ELASTEK 40 SM | | 4 | 0,046 |
| zátěr horkým asfaltem | | 1,8 | 0,020 |
| pěnové sklo FOAMGLAS T4 | 1,2 | 150 | 0,18 |
| zátěr horkým asfaltem | | 6,4 | 0,070 |
| oxidovaný asf. pás DEK R13 | | 1,3 | 0,014 |
| překližková deska | 7,2 | 50 | 0,360 |
| CELKEM | | 215,6 | 0,762 |

osová vzdálenost vaznic $L = 2 \text{ m}$

$$g_{1,k}' = g_{1,k} \cdot L = 0,762 \cdot 2 = 1,524 \text{ KN/m}$$

2.1.3 PODHLED

hliníková konstrukce pro zavěšení plátna odhad 20 kg/m^2

osová vzdálenost vaznic $L = 2 \text{ m}$

$$g_{2,k}' = g_{2,k} \cdot L = 0,2 \cdot 2 = 0,400 \text{ KN/m}$$

2.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

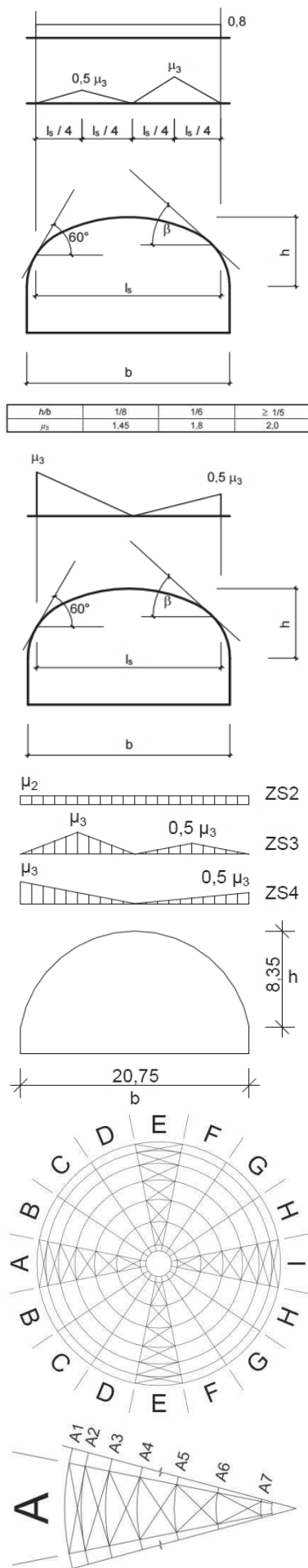
2.2.1 SNÍH

lokalita Brno – II. sněhová oblast $s_k = 1,0 \text{ KN/m}^2$

součinitel expozice $C_e = 1,0$

tepelný součinitel $C_t = 1,0$

$$s_i = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = \mu_i \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,0 \mu_i \text{ KN/m}^2$$

**2.2.1.1 SNÍH ROVNOMĚRNÝ – ZS2**

tvarový součinitel $\mu_2 = 0,8$

$$s_1 = s_i \cdot \mu_2 = 1,0 \cdot 0,8 = 0,8 \text{ KN/m}^2$$

2.2.1.2 SNÍH NEROVNOMĚRNÝ – ZS3

$$\frac{h}{b} = \frac{8,35}{20,75} = 0,402 > \frac{1}{5} \quad h = 8,35 \text{ m} \quad b = 20,75 \text{ m}$$

tvarový součinitel $\mu_3 = 2,0$

$$s_2 = s_i \cdot \mu_3 = 1,0 \cdot 2,0 = 2,0 \text{ KN/m}^2$$

$$\frac{s_2}{2} = s_i \cdot \frac{\mu_3}{2} = 0,1 \cdot \frac{2,0}{2} = 1,0 \text{ KN/m}^2$$

2.2.1.3 SNÍH NAVÁTÝ – ZS4

tvarový součinitel $\mu_3 = 2,0$

$$s_3 = s_i \cdot \mu_3 = 1,0 \cdot 2,0 = 2,0 \text{ KN/m}^2$$

$$\frac{s_3}{2} = s_i \cdot \frac{\mu_3}{2} = 1,0 \cdot \frac{2,0}{2} = 1,0 \text{ KN/m}^2$$

| číslo vaznice | úhel β [°] | ZŠ [mm] | sníh rovnoměrný | | sníh nerovnoměrný | | sníh navátý | |
|------------------|---------------------|------------|--------------------|-------|----------------------|-------|-------------------|-------|
| | | | KN/m ² | KN/m | KN/m ² | KN/m | KN/m ² | KN/m |
| A3 | 52,5 | 1438,1 | 0,800 | 1,150 | 0,336 | 0,483 | 1,832 | 2,635 |
| A4 | 41,5 | 1488,7 | 0,800 | 1,191 | 0,940 | 1,399 | 1,530 | 2,278 |
| A5 | 30,5 | 1712,7 | 0,800 | 1,370 | 1,674 | 2,867 | 1,172 | 2,007 |
| A6 | 19,5 | 1873,7 | 0,800 | 1,499 | 1,542 | 2,889 | 0,771 | 1,445 |
| A7 | 8,5 | 1419,7 | 0,800 | 1,136 | 0,683 | 0,970 | 0,341 | 0,484 |
| B3 | 52,5 | 1438,1 | 0,800 | 1,150 | 0,615 | 0,884 | 1,693 | 2,435 |
| B4 | 41,5 | 1488,7 | 0,800 | 1,191 | 1,173 | 1,746 | 1,414 | 2,105 |
| B5 | 30,5 | 1712,7 | 0,800 | 1,370 | 1,834 | 3,141 | 1,083 | 1,855 |
| B6 | 19,5 | 1873,7 | 0,800 | 1,499 | 1,424 | 2,668 | 0,712 | 1,334 |
| B7 | 8,5 | 1419,7 | 0,800 | 1,136 | 0,631 | 0,896 | 0,315 | 0,447 |
| C3 | 52,5 | 1438,1 | 0,800 | 1,150 | 1,409 | 2,026 | 1,296 | 1,864 |
| C4 | 41,5 | 1488,7 | 0,800 | 1,191 | 1,836 | 2,733 | 1,082 | 1,611 |
| C5 | 30,5 | 1712,7 | 0,800 | 1,370 | 1,658 | 2,840 | 0,829 | 1,420 |
| C6 | 19,5 | 1873,7 | 0,800 | 1,499 | 1,090 | 2,042 | 0,545 | 1,021 |
| C7 | 8,5 | 1419,7 | 0,800 | 1,136 | 0,483 | 0,686 | 0,241 | 0,342 |

| číslo vaznice | úhel β [°] | ZŠ [mm] | sníh rovnoměrný | | sníh nerovnoměrný | | sníh navátý | |
|---------------|------------------|---------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|
| | | | KN/m ² | KN/m | KN/m ² | KN/m | KN/m ² | KN/m |
| D3 | 52,5 | 1438,1 | 0,800 | 1,150 | 1,402 | 2,016 | 0,701 | 1,008 |
| D4 | 41,5 | 1488,7 | 0,800 | 1,191 | 1,171 | 1,743 | 0,586 | 0,872 |
| D5 | 30,5 | 1712,7 | 0,800 | 1,370 | 0,897 | 1,536 | 0,449 | 0,769 |
| D6 | 19,5 | 1873,7 | 0,800 | 1,499 | 0,590 | 1,105 | 0,295 | 0,553 |
| D7 | 8,5 | 1419,7 | 0,800 | 1,136 | 0,261 | 0,371 | 0,131 | 0,186 |
| E3 | 52,5 | 1438,1 | 0,800 | 1,150 | 0,268 | 0,385 | 0,134 | 0,193 |
| E4 | 41,5 | 1488,7 | 0,800 | 1,191 | 0,268 | 0,399 | 0,134 | 0,199 |
| E5 | 30,5 | 1712,7 | 0,800 | 1,370 | 0,268 | 0,459 | 0,134 | 0,230 |
| E6 | 19,5 | 1873,7 | 0,800 | 1,499 | 0,268 | 0,502 | 0,134 | 0,251 |
| E7 | 8,5 | 1419,7 | 0,800 | 1,136 | 0,268 | 0,380 | 0,134 | 0,190 |
| F3 | 52,5 | 1438,1 | 0,800 | 1,150 | 0,701 | 1,008 | 0,351 | 0,505 |
| F4 | 41,5 | 1488,7 | 0,800 | 1,191 | 0,586 | 0,872 | 0,293 | 0,436 |
| F5 | 30,5 | 1712,7 | 0,800 | 1,370 | 0,449 | 0,769 | 0,225 | 0,385 |
| F6 | 19,5 | 1873,7 | 0,800 | 1,499 | 0,295 | 0,553 | 0,148 | 0,277 |
| F7 | 8,5 | 1419,7 | 0,800 | 1,136 | 0,131 | 0,186 | 0,066 | 0,094 |
| G3 | 52,5 | 1438,1 | 0,800 | 1,150 | 0,705 | 1,014 | 0,648 | 0,932 |
| G4 | 41,5 | 1488,7 | 0,800 | 1,191 | 0,918 | 1,367 | 0,541 | 0,805 |
| G5 | 30,5 | 1712,7 | 0,800 | 1,370 | 0,829 | 1,420 | 0,415 | 0,711 |
| G6 | 19,5 | 1873,7 | 0,800 | 1,499 | 0,545 | 1,021 | 0,273 | 0,512 |
| G7 | 8,5 | 1419,7 | 0,800 | 1,136 | 0,242 | 0,344 | 0,121 | 0,172 |
| H3 | 52,5 | 1438,1 | 0,800 | 1,150 | 0,308 | 0,443 | 0,847 | 1,218 |
| H4 | 41,5 | 1488,7 | 0,800 | 1,191 | 0,587 | 0,874 | 0,707 | 1,053 |
| H5 | 30,5 | 1712,7 | 0,800 | 1,370 | 0,917 | 1,571 | 0,542 | 0,928 |
| H6 | 19,5 | 1873,7 | 0,800 | 1,499 | 0,712 | 1,334 | 0,356 | 0,667 |
| H7 | 8,5 | 1419,7 | 0,800 | 1,136 | 0,316 | 0,449 | 0,158 | 0,224 |
| I3 | 52,5 | 1438,1 | 0,800 | 1,150 | 0,168 | 0,242 | 0,916 | 1,317 |
| I4 | 41,5 | 1488,7 | 0,800 | 1,191 | 0,470 | 0,700 | 0,765 | 1,139 |
| I5 | 30,5 | 1712,7 | 0,800 | 1,370 | 0,837 | 1,434 | 0,586 | 1,004 |
| I6 | 19,5 | 1873,7 | 0,800 | 1,499 | 0,771 | 1,445 | 0,386 | 0,723 |
| I7 | 8,5 | 1419,7 | 0,800 | 1,136 | 0,342 | 0,486 | 0,171 | 0,243 |

2.2.2 VÍTR

lokalita Brno

II. větrná oblast

II. kategorie terénu

výchozí základní rychlost větru

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

součinitel směru větru

$$c_{dir} = 1,0$$

součinitel ročního období

$$c_{season} = 1,0$$

1) základní rychlost větru

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_{dir} \cdot c_{season} = 25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 25 \text{ m/s}$$

součinitel orografie

$$c_0(z) = 1,0$$

parametr drsnosti terénu

$$z_0 = 0,05 \text{ m}$$

minimální výška

$$z_{min} = 2 \text{ m}$$

maximální výška

$$z_{max} = 200 \text{ m}$$

výška kopule

$$z = 10,65 \text{ m}$$

$$z_{min} < z < z_{max}$$

$$2 < 10,65 < 200$$

součinitel terénu

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

II. kategorie terénu

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19$$

součinitel drsnosti

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,19 \cdot \ln \left(\frac{10,65}{0,05} \right) = 1,019$$

2) střední rychlost větru

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 1,019 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25,5 \text{ m/s}$$

součinitel turbulence

$$k_1 = 1,0$$

měrná hmotnost vzduchu

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

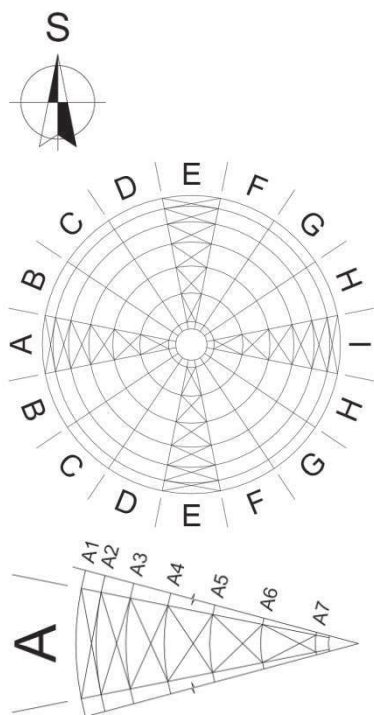
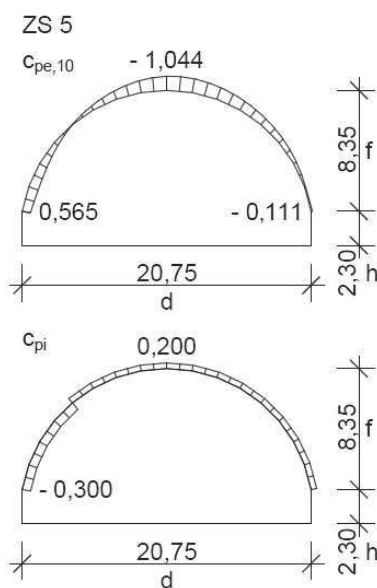
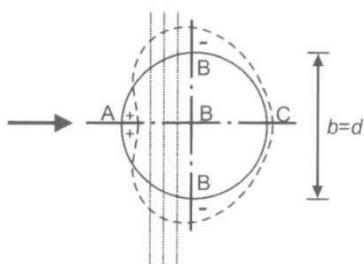
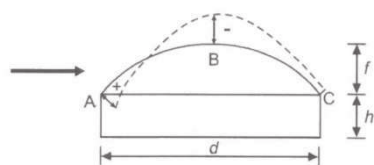
intenzita turbulence

$$l_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln \left(\frac{10,65}{0,05} \right)} = 0,187$$

3) maximální dynamický tlak

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m(z)^2$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,187] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25,5^2 = 0,938 \text{ KN/m}^2$$



$$f = 8,35 \text{ m}$$

$$h = 2,30 \text{ m}$$

$$d = 20,75 \text{ m}$$

$$\frac{f}{d} = \frac{8,35}{20,75} = 0,402$$

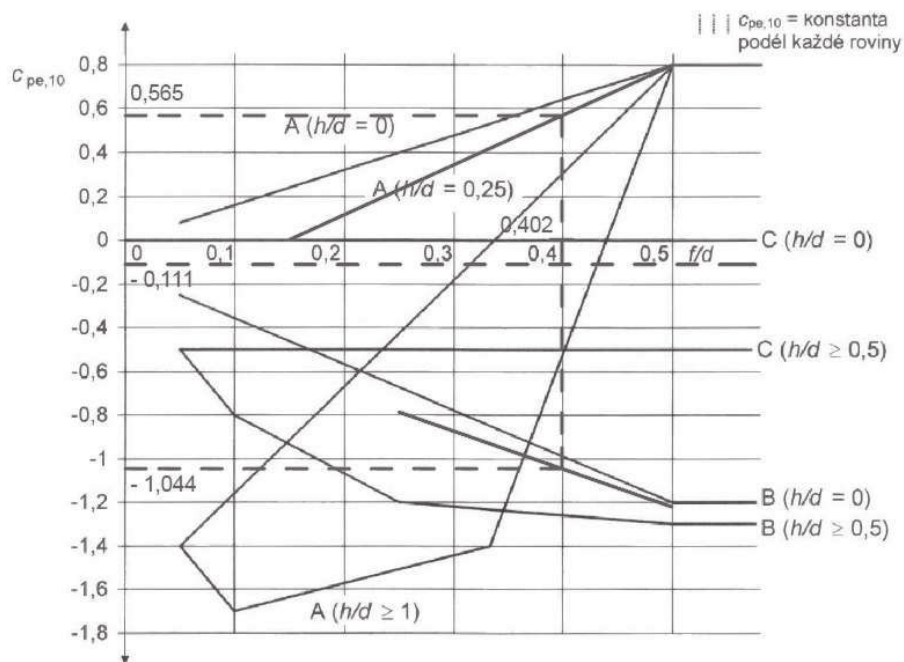
$$\frac{h}{d} = \frac{2,30}{20,75} = 0,111$$

4) tlak větru na vnitřní povrchy

$$c_{pi} = 0,200$$

$$c_{pi} = - 0,300$$

5) tlak větru na vnější povrchy



$$c_{pe,10}(A) = 0,565$$

$$c_{pe,10}(B) = - 1,044$$

$$c_{pe,10}(C) = - 0,111$$

6) výsledný tlak větru

$$w_k = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi})$$

2.2.2.1 VÍTR ZÁPADNÍ – ZS5

| číslo vaznice | ZŠ [mm] | $q_p(z)$ [KN/m ²] | součinitele | | vitr na kopuli | |
|------------------|------------|----------------------------------|-------------|----------|-------------------|---------|
| | | | $c_{pe,10}$ | c_{pi} | KN/m ² | KN/m |
| A1 | 1455 | 0,938 | 0,550 | - 0,300 | 0,797 | 1,160 |
| A2 | 2000 | 0,938 | 0,440 | - 0,300 | 0,694 | 1,388 |
| A3 | 2000 | 0,938 | 0,262 | - 0,300 | 0,527 | 1,054 |
| A4 | 2000 | 0,938 | 0,017 | - 0,300 | 0,297 | 0,594 |
| A5 | 2000 | 0,938 | - 0,349 | 0,200 | - 0,515 | - 1,030 |
| A6 | 2000 | 0,938 | - 0,667 | 0,200 | - 0,813 | - 1,626 |
| A7 | 1455 | 0,938 | - 0,912 | 0,200 | - 1,043 | - 1,518 |

| číslo vaznice | ZŠ [mm] | $q_p(z)$ [kN/m ²] | součinitele | | vítr na kopuli | |
|---------------|---------|-------------------------------|-------------|----------|-------------------|---------|
| | | | $c_{pe,10}$ | c_{pi} | kN/m ² | kN/m |
| B1 | 1455 | 0,938 | 0,433 | - 0,300 | 0,687 | 1,000 |
| B2 | 2000 | 0,938 | 0,322 | - 0,300 | 0,583 | 1,166 |
| B3 | 2000 | 0,938 | 0,151 | - 0,300 | 0,423 | 0,846 |
| B4 | 2000 | 0,938 | - 0,108 | 0,200 | - 0,289 | - 0,578 |
| B5 | 2000 | 0,938 | - 0,428 | 0,200 | - 0,589 | - 1,178 |
| B6 | 2000 | 0,938 | - 0,706 | 0,200 | - 0,850 | - 1,700 |
| B7 | 1455 | 0,938 | - 0,924 | 0,200 | - 1,054 | - 1,534 |

| číslo vaznice | ZŠ [mm] | $q_p(z)$ [kN/m ²] | součinitele | | vítr na kopuli | |
|---------------|---------|-------------------------------|-------------|----------|-------------------|---------|
| | | | $c_{pe,10}$ | c_{pi} | kN/m ² | kN/m |
| C1 | 1455 | 0,938 | 0,053 | - 0,300 | 0,331 | 0,482 |
| C2 | 2000 | 0,938 | - 0,055 | 0,200 | - 0,239 | - 0,478 |
| C3 | 2000 | 0,938 | - 0,231 | 0,200 | - 0,404 | - 0,808 |
| C4 | 2000 | 0,938 | - 0,429 | 0,200 | - 0,590 | - 1,180 |
| C5 | 2000 | 0,938 | - 0,627 | 0,200 | - 0,776 | - 1,552 |
| C6 | 2000 | 0,938 | - 0,807 | 0,200 | - 0,945 | - 1,890 |
| C7 | 1455 | 0,938 | - 0,957 | 0,200 | - 1,085 | - 1,579 |

| číslo vaznice | ZŠ [mm] | $q_p(z)$ [kN/m ²] | součinitele | | vítr na kopuli | |
|---------------|---------|-------------------------------|-------------|----------|-------------------|---------|
| | | | $c_{pe,10}$ | c_{pi} | kN/m ² | kN/m |
| D1 | 1455 | 0,938 | - 0,610 | 0,200 | - 0,760 | - 1,106 |
| D2 | 2000 | 0,938 | - 0,653 | 0,200 | - 0,800 | - 1,600 |
| D3 | 2000 | 0,938 | - 0,713 | 0,200 | - 0,856 | - 1,712 |
| D4 | 2000 | 0,938 | - 0,784 | 0,200 | - 0,923 | - 1,846 |
| D5 | 2000 | 0,938 | - 0,860 | 0,200 | - 0,994 | - 1,988 |
| D6 | 2000 | 0,938 | - 0,934 | 0,200 | - 1,064 | - 2,128 |
| D7 | 1455 | 0,938 | - 1,000 | 0,200 | - 1,126 | - 1,638 |

| číslo vaznice | ZŠ [mm] | $q_p(z)$ [kN/m ²] | součinitele | | vítr na kopuli | |
|---------------|---------|-------------------------------|-------------|----------|-------------------|---------|
| | | | $c_{pe,10}$ | c_{pi} | kN/m ² | kN/m |
| E1 | 1455 | 0,938 | - 1,044 | 0,200 | - 1,167 | - 1,698 |
| E2 | 2000 | 0,938 | - 1,044 | 0,200 | - 1,167 | - 2,334 |
| E3 | 2000 | 0,938 | - 1,044 | 0,200 | - 1,167 | - 2,334 |
| E4 | 2000 | 0,938 | - 1,044 | 0,200 | - 1,167 | - 2,334 |
| E5 | 2000 | 0,938 | - 1,044 | 0,200 | - 1,167 | - 2,334 |
| E6 | 2000 | 0,938 | - 1,044 | 0,200 | - 1,167 | - 2,334 |
| E7 | 1455 | 0,938 | - 1,044 | 0,200 | - 1,167 | - 1,698 |

| číslo vaznice | ZŠ [mm] | $q_p(z)$ [KN/m ²] | součinitele | | vítr na kopuli | |
|---------------|---------|-------------------------------|-------------|----------|-------------------|---------|
| | | | $c_{pe,10}$ | c_{pi} | KN/m ² | KN/m |
| F1 | 1455 | 0,938 | - 0,882 | 0,200 | - 1,015 | - 1,477 |
| F2 | 2000 | 0,938 | - 0,905 | 0,200 | - 1,036 | - 2,072 |
| F3 | 2000 | 0,938 | - 0,934 | 0,200 | - 1,064 | - 2,128 |
| F4 | 2000 | 0,938 | - 0,967 | 0,200 | - 1,095 | - 2,190 |
| F5 | 2000 | 0,938 | - 0,998 | 0,200 | - 1,124 | - 2,248 |
| F6 | 2000 | 0,938 | - 1,023 | 0,200 | - 1,147 | - 2,294 |
| F7 | 1455 | 0,938 | - 1,040 | 0,200 | - 1,163 | - 1,692 |

| číslo vaznice | ZŠ [mm] | $q_p(z)$ [KN/m ²] | součinitele | | vítr na kopuli | |
|---------------|---------|-------------------------------|-------------|----------|-------------------|---------|
| | | | $c_{pe,10}$ | c_{pi} | KN/m ² | KN/m |
| G1 | 1455 | 0,938 | - 0,468 | 0,200 | - 0,627 | - 0,912 |
| G2 | 2000 | 0,938 | - 0,542 | 0,200 | - 0,696 | - 1,392 |
| G3 | 2000 | 0,938 | - 0,658 | 0,200 | - 0,805 | - 1,610 |
| G4 | 2000 | 0,938 | - 0,780 | 0,200 | - 0,919 | - 1,838 |
| G5 | 2000 | 0,938 | - 0,891 | 0,200 | - 1,023 | - 2,046 |
| G6 | 2000 | 0,938 | - 0,977 | 0,200 | - 1,104 | - 2,208 |
| G7 | 1455 | 0,938 | - 1,030 | 0,200 | - 1,154 | - 1,679 |

| číslo vaznice | ZŠ [mm] | $q_p(z)$ [KN/m ²] | součinitele | | vítr na kopuli | |
|---------------|---------|-------------------------------|-------------|----------|-------------------|---------|
| | | | $c_{pe,10}$ | c_{pi} | KN/m ² | KN/m |
| H1 | 1455 | 0,938 | - 0,204 | 0,200 | - 0,379 | - 0,551 |
| H2 | 2000 | 0,938 | - 0,281 | 0,200 | - 0,451 | - 0,902 |
| H3 | 2000 | 0,938 | - 0,400 | 0,200 | - 0,563 | - 1,126 |
| H4 | 2000 | 0,938 | - 0,577 | 0,200 | - 0,729 | - 1,458 |
| H5 | 2000 | 0,938 | - 0,779 | 0,200 | - 0,918 | - 1,836 |
| H6 | 2000 | 0,938 | - 0,931 | 0,200 | - 1,061 | - 2,122 |
| H7 | 1455 | 0,938 | - 1,021 | 0,200 | - 1,145 | - 1,666 |

| číslo vaznice | ZŠ [mm] | $q_p(z)$ [KN/m ²] | součinitele | | vítr na kopuli | |
|---------------|---------|-------------------------------|-------------|----------|-------------------|---------|
| | | | $c_{pe,10}$ | c_{pi} | KN/m ² | KN/m |
| I1 | 1455 | 0,938 | - 0,122 | 0,200 | - 0,302 | - 0,439 |
| I2 | 2000 | 0,938 | - 0,198 | 0,200 | - 0,373 | - 0,746 |
| I3 | 2000 | 0,938 | - 0,323 | 0,200 | - 0,491 | - 0,982 |
| I4 | 2000 | 0,938 | - 0,493 | 0,200 | - 0,650 | - 1,300 |
| I5 | 2000 | 0,938 | - 0,732 | 0,200 | - 0,874 | - 1,748 |
| I6 | 2000 | 0,938 | - 0,912 | 0,200 | - 1,043 | - 2,086 |
| I7 | 1455 | 0,938 | - 1,017 | 0,200 | - 1,142 | - 1,662 |

2.2.2.2 VÍTR SEVERNÍ – ZS6

analogicky jako ZS5, pouze pootočeno o 90°

2.2.2.3 VÍTR VÝCHODNÍ – ZS7

analogicky jako ZS5, pouze pootočeno o 180°

2.2.2.4 VÍTR JIŽNÍ – ZS8

analogicky jako ZS5, pouze pootočeno o 270°

3 KOMBINACE ZATÍŽENÍ**3.1 ZATĚŽOVACÍ STAVY**

| | |
|-----|--|
| ZS1 | vlastní tíha + střešní plášť + podhled |
| ZS2 | sníh rovnoměrný |
| ZS3 | sníh nerovnoměrný |
| ZS4 | sníh navátý |
| ZS5 | vítr západní |
| ZS6 | vítr severní |
| ZS7 | vítr východní |
| ZS8 | vítr jižní |

3.2 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

Tabulka A1.2 (B) – návrhové hodnoty zatížení (STR/GEO) (soubor B)

| Trvalé a dočasné návrhové situace | Stálá zatížení | | Hlavní proměnné zatížení | Vedlejší proměnná zatížení (*) | |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | nepříznivá | příznivá | | nejúčinnější (pokud se vyskytuje) | ostatní |
| (Výraz 6. 10) | $\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$ | $\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$ | $\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$ | | $\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ |

| Trvalé a dočasné návrhové situace | Stálá zatížení | | Hlavní proměnné zatížení (*) | Vedlejší proměnná zatížení (*) | |
|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | nepříznivá | příznivá | | nejúčinnější | ostatní |
| (Výraz 6. 10a) | $\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$ | $\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$ | | $\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$ | $\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ |
| (Výraz 6. 10b) | $\xi \gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$ | $\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$ | $\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$ | | $\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ |

$$\gamma_{Gj,sup} = 1,35$$

$$\gamma_{Gj,inf} = 1,00$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,50 \text{ (0 pro nepříznivé)}$$

$$\gamma_{Q,i} = 1,50 \text{ (0 pro nepříznivé)}$$

$$\xi = 0,85 \text{ (takže } \xi \cdot \gamma_{Gj,sup} = 0,85 \cdot 1,35 = 1,15)$$

$$\psi_0 = 0,50 - \text{zatížení sněhem, pro stavby ve výšce } < 1000 \text{ m. n. m.}$$

$$0,60 - \text{zatížení větrem}$$

3.3 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Tabulka A1.4 - návrhové hodnoty zatížení v kombinacích zatížení

| Kombinace | Stálá zatížení G_d | | Proměnná zatížení Q_d | |
|------------------|----------------------|---------------|-------------------------|----------------------|
| | nepříznivá | příznivá | hlavní | vedlejší |
| Charakteristická | $G_{k,j,sup}$ | $G_{k,j,inf}$ | $Q_{k,1}$ | $\psi_{0,i} Q_{k,i}$ |
| Častá | $G_{k,j,sup}$ | $G_{k,j,inf}$ | $\psi_{1,1} Q_{k,1}$ | $\psi_{2,i} Q_{k,i}$ |
| Kvazistálá | $G_{k,j,sup}$ | $G_{k,j,inf}$ | $\psi_{2,1} Q_{k,1}$ | $\psi_{2,i} Q_{k,i}$ |

$$\psi_0 = 0,50 - \text{zatížení sněhem, pro stavby ve výšce } < 1000 \text{ m. n. m.}$$

$$0,60 - \text{zatížení větrem}$$

$$\psi_1 = 0,20 - \text{zatížení sněhem, pro stavby ve výšce } < 1000 \text{ m. n. m.}$$

$$0,20 - \text{zatížení větrem}$$

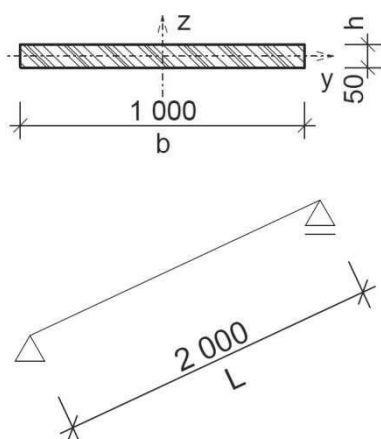
$$\psi_2 = 0,00 - \text{zatížení sněhem, pro stavby ve výšce } < 1000 \text{ m. n. m.}$$

$$0,00 - \text{zatížení větrem}$$

| | ZS1 | ZS2 | ZS3 | ZS4 | ZS5 | ZS6 | ZS7 | ZS8 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| KV1 | XXX | | | | | | | |
| KV2 | XXX | XX | | | | | | |
| KV3 | XXX | | XX | | | | | |
| KV4 | XXX | | | XX | | | | |
| KV5 | XXX | XX | | | X | | | |
| KV6 | XXX | XX | | | | X | | |
| KV7 | XXX | XX | | | | | X | |
| KV8 | XXX | XX | | | | | | X |
| KV9 | XXX | | XX | | X | | | |
| KV10 | XXX | | XX | | | X | | |
| KV11 | XXX | | XX | | | | X | |
| KV12 | XXX | | XX | | | | | X |
| KV13 | XXX | | | XX | X | | | |
| KV14 | XXX | | | XX | | X | | |
| KV15 | XXX | | | XX | | | X | |

| | ZS1 | ZS2 | ZS3 | ZS4 | ZS5 | ZS6 | ZS7 | ZS8 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| KV16 | XXX | | | XX | | | | X |
| KV17 | XXX | | | | XX | | | |
| KV18 | XXX | | | | | XX | | |
| KV19 | XXX | | | | | | XX | |
| KV20 | XXX | | | | | | | XX |
| KV21 | XXX | X | | | XX | | | |
| KV22 | XXX | X | | | | XX | | |
| KV23 | XXX | X | | | | | XX | |
| KV24 | XXX | X | | | | | | XX |
| KV25 | XXX | | X | | XX | | | |
| KV26 | XXX | | X | | | XX | | |
| KV27 | XXX | | X | | | | XX | |
| KV28 | XXX | | X | | | | | XX |
| KV29 | XXX | | | X | XX | | | |
| KV30 | XXX | | | X | | XX | | |
| KV31 | XXX | | | X | | | XX | |
| KV32 | XXX | | | X | | | | XX |

XXX stálé zatížení
 XX hlavní proměnné zatížení
 X vedlejší proměnné zatížení



4 POSOUZENÍ PRVKŮ – VARIANTA A

4.1 STŘEŠNÍ PLÁŠŤ

nosnou část střešního pláště tvoří překližované desky DYAS MULTIPLEX – třída lepení 1 (viz 7.1), rozměr desek 2 000 x 1 250 x 50 mm, tvořící bednění osazené vedle sebe na sraz na vaznice

4.1.1 GEOMETRIE

| | |
|-----------------------|--|
| šířka | $b = 1\,000\text{ mm}$ |
| výška | $h = 50\text{ mm}$ |
| plocha průřezu | $A = b \cdot h = 50\,000\text{ mm}^2$ |
| moment setrvačnosti | $I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = 1,04 \cdot 10^7\text{ mm}^4$ |
| průřezový modul | $W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = 4,17 \cdot 10^5\text{ mm}^3$ |
| poloměry setrvačnosti | $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 14,4\text{ mm}$ |
| rozpětí | $L = 2\,000\text{ mm}$ |

4.1.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|---------------------------------------|---|
| překližka | třída lepení 1 |
| třída provozu | 2 |
| třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| hodnota k_{mod} | 0,90 |
| souč. vlastnosti materiálu γ_M | 1,20 |
| návrhová hodnota pevnosti | $f_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$ |
| charakteristická pevnost v ohybu | $f_{m,k} = 54,0\text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v ohybu | $f_{m,d} = 40,5\text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tlaku | $f_{c,0,k} = 30,0\text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tlaku | $f_{c,0,d} = 22,5\text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 1,00\text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 0,75\text{ MPa}$ |
| modul pružnosti | $E_{0,\text{mean}} = 8\,000\text{ MPa}$ $E_{0,05} = 6\,700\text{ MPa}$ |
| hustota | $\rho = 720\text{ kg/m}^3$ |

4.1.3 ZATÍŽENÍ**4.1.3.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ**

střešní plášť $g_{1,k} = 0,762 \text{ KN/m}^2$ viz 2.1.2

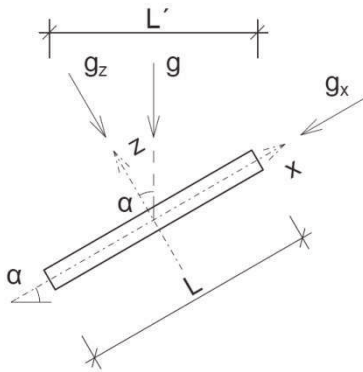
Σ stálé zatížení $g_k = g_{1,k} = 0,762 \text{ KN/m}$

4.1.3.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

viz 2.2

4.1.3.3 ROZKLAD ZATÍŽENÍ

$$g_x = g \cdot \sin \alpha \quad g_z = g \cdot \cos \alpha \quad s_k' = s_k \cdot L' / L$$

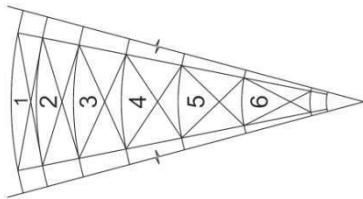


| | α [°] | stálé zatížení | | | sníh | | | | vítr |
|---|-----------------|----------------|-----------|-----------|-------|--------|------------|------------|-------|
| | | g_k | $g_{x,k}$ | $g_{z,k}$ | s_k | s_k' | $s_{x,k}'$ | $s_{z,k}'$ | |
| 2 | 58 | 0,762 | 0,646 | 0,404 | 1,892 | 1,001 | 0,849 | 0,530 | 0,613 |
| 5 | 25 | 0,762 | 0,322 | 0,691 | 1,795 | 1,624 | 0,686 | 1,472 | - |

sání větru působí příznivě, a proto není uvažováno

4.1.4 VNITŘNÍ SÍLY

$$N_k = g_{x,k} \cdot L \quad V_k = \frac{1}{2} \cdot g_{z,k} \cdot L \quad M_k = \frac{1}{8} \cdot g_{z,k} \cdot L^2$$



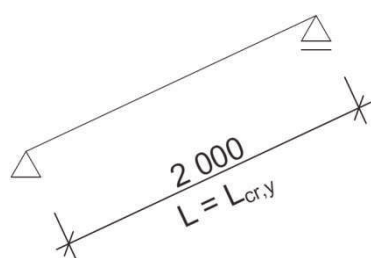
| | L [m] | stálé zatížení | | |
|---|----------|----------------|-----------|-----------|
| | | $N_{g,k}$ | $V_{g,k}$ | $M_{g,k}$ |
| 2 | 2,00 | 1,292 | 0,404 | 0,202 |
| 5 | | 0,644 | 0,691 | 0,346 |

| | L [m] | sníh | | | vítr | |
|---|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ | $V_{w,k}$ | $M_{w,k}$ |
| 2 | 2,00 | 1,698 | 0,530 | 0,265 | 0,613 | 0,307 |
| 5 | | 1,372 | 1,472 | 0,736 | - | - |

kombinace a návrhové hodnoty vnitřních sil (hodnoty viz 3.2)

$$F_d = \gamma_{Gj,sup} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot S_k + \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot W_k$$

| | návrhové vnitřní síly | | |
|---|-----------------------|-------|-------|
| | N_d | V_d | M_d |
| 2 | 4,291 | 1,892 | 0,947 |
| 5 | 2,927 | 3,141 | 1,571 |



$\beta_c = 0,1$ (pro překližku)

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_d}{W_y}$$

| | návrhové vnitřní síly | | |
|---|-----------------------|----------|------------------|
| | $\sigma_{c,0,d}$ | τ_d | $\sigma_{m,y,d}$ |
| 2 | 0,086 | 0,057 | 2,273 |
| 5 | 0,059 | 0,094 | 3,770 |

4.1.5 POSOUZENÍ – MSÚ

4.1.5.1 VZPĚR

$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

$$L_{cr,y} = L \cdot \beta = 2\,000 \cdot 1,0 = 2\,000 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2\,000}{14,4} = 139$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{139}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{30}{6\,700}} = 2,96$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (2,96 - 0,3) + 2,96^2) = 5,01$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{5,01 + \sqrt{5,01^2 - 2,96^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,110$$

POSOUZENÍ

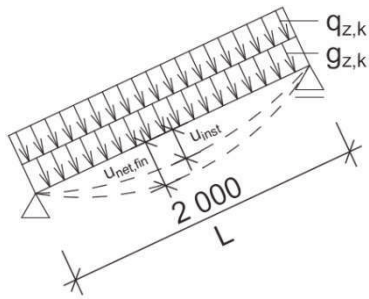
$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (1)$$

4.1.5.2 SMYK

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (2)$$

| | podmínky | |
|---|----------|-------|
| | (1) | (2) |
| 2 | 0,091 | 0,076 |
| 5 | 0,117 | 0,125 |

VYHOVÍ



4.1.6 POSOUZENÍ – MSP

pole 5

4.1.6.1 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{inst,G} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{z,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,691 \cdot 10^3 \cdot 2\,000^4}{8\,000 \cdot 10^6 \cdot 1,04 \cdot 10^7}$$

$$u_{inst,G} = 1,73 \text{ mm}$$

4.1.6.2 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{inst,Q,1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{z,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,472 \cdot 10^3 \cdot 2\,000^4}{8\,000 \cdot 10^6 \cdot 1,04 \cdot 10^7}$$

$$u_{inst,Q,1} = 3,69 \text{ mm}$$

$$u_{inst} = u_{inst,G} + u_{inst,Q,1} = 1,73 + 3,69 = 5,42 \text{ mm}$$

$$u_{inst} \leq \frac{L}{300} = \frac{2\,000}{300} = 6,67 \text{ mm}$$

$$5,42 \text{ mm} < 6,67 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

4.1.6.3 KONEČNÝ PRŮHYB

$$k_{def} = 1,0$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 1,73 \cdot (1 + 1,0) = 3,46 \text{ mm}$$

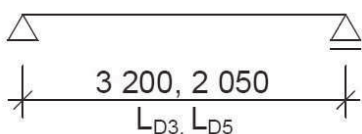
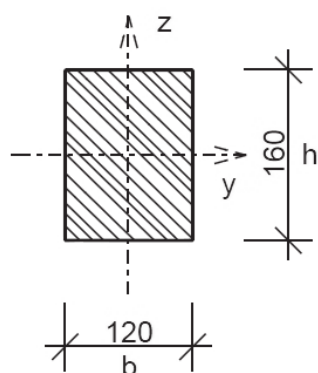
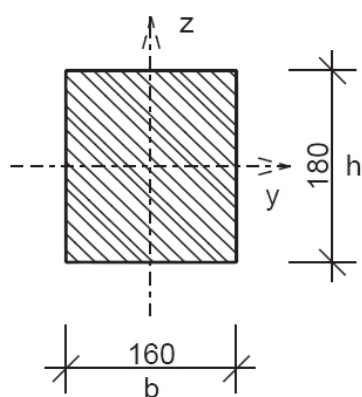
$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 3,69 \cdot (1 + 0 \cdot 1,0) = 3,69 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q,1} = 3,46 + 3,69 = 7,15 \text{ mm}$$

$$u_{fin} \leq \frac{L}{250} = \frac{2\,000}{250} = 8,00 \text{ mm}$$

$$7,15 \text{ mm} < 8,00 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



4.2 VAZNICE

staticky budou působit jako prosté nosníky osazené do třmenů nebo na plechy připevněné na žebra

4.2.1 GEOMETRIE

| | | vaznice D3 | vaznice D5 |
|-----------------------|-------|--|--|
| šířka | b | 160 mm | 120 mm |
| výška | h | 180 mm | 160 mm |
| plocha průřezu | A | 28 800 mm ² | 19 200 mm ² |
| momenty setrvačnosti | I_y | 7,78 · 10 ⁷ mm ⁴ | 4,10 · 10 ⁷ mm ⁴ |
| | I_z | 6,14 · 10 ⁷ mm ⁴ | 2,30 · 10 ⁷ mm ⁴ |
| průřezové moduly | W_y | 8,64 · 10 ⁵ mm ³ | 5,12 · 10 ⁵ mm ³ |
| | W_z | 7,68 · 10 ⁵ mm ³ | 3,84 · 10 ⁵ mm ³ |
| poloměry setrvačnosti | i_y | 52,0 mm | 46,2 mm |
| | i_z | 46,2 mm | 34,6 mm |
| rozpětí | L | 3200 mm | 2050 mm |
| osová vzdálenost | B | 2000 mm | 2000 mm |

4.2.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|---------------------------------------|---------------------|
| rostlé dřevo | C24 |
| třída provozu | 2 |
| třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| hodnota k_{mod} | 0,90 |
| souč. vlastnosti materiálu γ_M | 1,30 |

$$\text{návrhová hodnota pevnosti} \quad f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$$

$$\text{charakteristická pevnost v ohybu} \quad f_{m,k} = 24,0 \text{ MPa}$$

$$\text{návrhová pevnost v ohybu} \quad f_{m,d} = 16,6 \text{ MPa}$$

$$\text{charakteristická pevnost v tahu} \parallel \quad f_{t,0,k} = 14,0 \text{ MPa}$$

$$\text{návrhová pevnost v tahu} \parallel \quad f_{t,0,d} = 9,69 \text{ MPa}$$

$$\text{charakteristická pevnost v tlaku} \parallel \quad f_{c,0,k} = 21,0 \text{ MPa}$$

$$\text{návrhová pevnost v tlaku} \parallel \quad f_{c,0,d} = 14,5 \text{ MPa}$$

$$\text{charakteristická pevnost ve smyku} \quad f_{v,k} = 4,00 \text{ MPa}$$

$$\text{návrhová pevnost ve smyku} \quad f_{v,d} = 2,77 \text{ MPa}$$

$$\text{moduly pružnosti} \quad E_{0,mean} = 11\,000 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 7\,400 \text{ MPa}$$

$$\text{hustota} \quad \rho = 350 \text{ kg/m}^3$$

4.2.3 ZATÍŽENÍ

4.2.3.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ

$$\text{vlastní tíha} \quad g_{0,k,D3} = A_{D3} \cdot \rho = 0,0288 \cdot 3,5 = 0,101 \text{ KN/m}$$

$$g_{0,k,D5} = A_{D5} \cdot \rho = 0,0192 \cdot 3,5 = 0,067 \text{ KN/m}$$

$$\text{střešní plášť} \quad g_{1,k} = 1,524 \text{ KN/m} \quad \text{viz 2.1.2}$$

$$\text{podhled} \quad g_{2,k} = 0,400 \text{ KN/m} \quad \text{viz 2.1.3}$$

$$\Sigma \text{ stálé zatížené} \quad g_{k,D3} = g_{0,k,D3} + g_{1,k} + g_{2,k} = 2,025 \text{ KN/m}$$

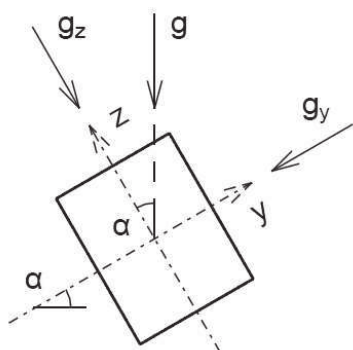
$$g_{k,D5} = g_{0,k,D5} + g_{1,k} + g_{2,k} = 1,991 \text{ KN/m}$$

4.2.3.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

viz tabulka

4.2.3.3 ROZKLAD ZATÍŽENÍ

$$g_y = g \cdot \sin \alpha \quad g_z = g \cdot \cos \alpha$$



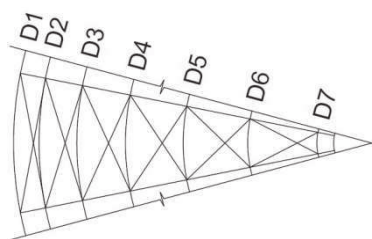
| | α [°] | stálé zatížení | | | sníh | | | vítr |
|----|-----------------|----------------|-----------|-----------|-------|-----------|-----------|-------|
| | | g_k | $g_{y,k}$ | $g_{z,k}$ | s_k | $s_{y,k}$ | $s_{z,k}$ | |
| D3 | 52,5 | 2,025 | 1,607 | 1,233 | 2,635 | 2,090 | 1,604 | 1,054 |
| D5 | 30,5 | 1,991 | 1,011 | 1,716 | 3,141 | 1,594 | 2,706 | - |

je uvažován tlak větru, sání větru působí příznivě, a proto není uvažováno

4.2.4 VNITŘNÍ SÍLY

$$V_{y,k} = \frac{1}{2} \cdot g_y \cdot L \quad V_{z,k} = \frac{1}{2} \cdot g_z \cdot L$$

$$M_{y,k} = \frac{1}{8} \cdot g_y \cdot L^2 \quad M_{z,k} = \frac{1}{8} \cdot g_z \cdot L^2$$



| | L [m] | stálé zatížení | | | |
|----|----------|----------------|-------------|-------------|-------------|
| | | $V_{y,g,k}$ | $V_{z,g,k}$ | $M_{y,g,k}$ | $M_{z,g,k}$ |
| D3 | 3,200 | 2,571 | 1,973 | 1,578 | 2,057 |
| D5 | 2,050 | 1,036 | 1,759 | 0,901 | 0,531 |

| | L [m] | sníh | | | | vítr | |
|----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | $V_{y,s,k}$ | $V_{z,s,k}$ | $M_{y,s,k}$ | $M_{z,s,k}$ | $V_{z,w,k}$ | $M_{y,w,k}$ |
| D3 | 3,200 | 3,344 | 2,566 | 2,053 | 2,675 | 1,686 | 1,349 |
| D5 | 2,050 | 1,634 | 2,774 | 1,421 | 0,837 | - | - |

kombinace a návrhové hodnoty vnitřních sil (hodnoty viz 3.2)

$$F_d = \gamma_{Gj,sup} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot S_k + \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot W_k$$

$$V_d = \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2}$$

N_d >> hodnoty převzaty z programu RFEM >> příloha F.1.1

| | návrhové vnitřní síly | | | | | |
|----|-----------------------|-----------|-----------|--------|-----------|-----------|
| | N_d | $V_{y,d}$ | $V_{z,d}$ | V_d | $M_{y,d}$ | $M_{z,d}$ |
| D3 | - 5,760 | 8,487 | 8,030 | 11,684 | 6,424 | 6,789 |
| D5 | - 21,041 | 3,850 | 6,536 | 7,586 | 3,348 | 1,972 |

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \quad \tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}$$

| | návrhové napětí | | | |
|----|------------------|----------|------------------|------------------|
| | $\sigma_{c,0,d}$ | τ_d | $\sigma_{m,y,d}$ | $\sigma_{m,z,d}$ |
| D3 | - 0,200 | 0,609 | 7,435 | 8,840 |
| D5 | - 1,096 | 0,593 | 6,539 | 5,135 |

4.2.5 POSOUZENÍ – MSÚ

4.2.5.1 VZPĚR – VAZNICE D3

$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{D3} \cdot \beta = 3\,200 \cdot 1,0 = 3\,200 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3\,200}{52,0} = 61,5$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3\,200}{46,2} = 69,3$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{61,5}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7\,400}} = 1,04$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{69,3}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7\,400}} = 1,18$$

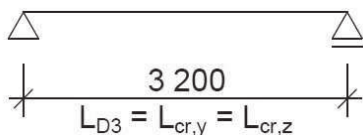
$\beta_c = 0,2$ (pro rostlé dřevo)

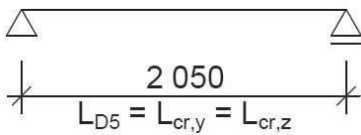
$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,04 - 0,3) + 1,04^2) = 1,11$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,18 - 0,3) + 1,18^2) = 1,28$$





$\beta_c = 0,2$ (pro rostlé dřevo)

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,11 + \sqrt{1,11^2 - 1,04^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,668$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,28 + \sqrt{1,28^2 - 1,18^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,563$$

4.2.5.2 VZPĚR – VAZNICE D5

$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{D5} \cdot \beta = 2\,050 \cdot 1,0 = 2\,050 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2\,050}{46,2} = 44,4$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2\,050}{34,6} = 59,2$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{44,4}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7\,400}} = 0,753$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{59,2}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7\,400}} = 1,00$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (0,753 - 0,3) + 0,753^2) = 0,829$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,00 - 0,3) + 1,00^2) = 1,07$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,829 + \sqrt{0,829^2 - 0,753^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,851$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,07 + \sqrt{1,07^2 - 1,00^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,689$$

POSOUZENÍ

$$k_m = 0,7$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (1)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (2)$$

4.2.5.3 SMYK

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (3)$$

| | podmínky | | |
|----|----------|-------|-------|
| | (1) | (2) | (3) |
| D3 | 0,841 | 0,871 | 0,220 |
| D5 | 0,699 | 0,695 | 0,214 |

VYHOVÍ

4.2.5.4 KLOPENÍ

$$\sigma_{m,crit,D3} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 160^2}{180 \cdot 3\,200} \cdot 7\,400 = 257 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,crit,D5} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 120^2}{160 \cdot 2\,050} \cdot 7\,400 = 253 \text{ MPa}$$

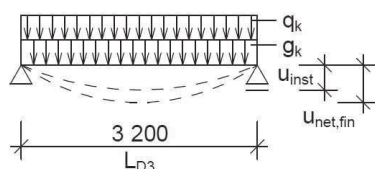
$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,D5}}} = \sqrt{\frac{24}{253}} = 0,308 < 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

KLOPENÍ NENASTANE

4.2.6 POSOUZENÍ – MSP

vaznice D3

4.2.6.1 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ



$$u_{inst,y,G} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{y,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,604 \cdot 10^3 \cdot 3\,200^4}{11\,000 \cdot 10^6 \cdot 6,14 \cdot 10^7}$$

$$u_{inst,y,G} = 3,24 \text{ mm}$$

$$u_{inst,z,G} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{z,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,233 \cdot 10^3 \cdot 3\,200^4}{11\,000 \cdot 10^6 \cdot 7,78 \cdot 10^7}$$

$$u_{inst,z,G} = 1,97 \text{ mm}$$

4.2.6.2 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{inst,y,Q,1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{y,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2,090 \cdot 10^3 \cdot 3\,200^4}{11\,000 \cdot 10^6 \cdot 6,14 \cdot 10^7}$$

$$u_{inst,y,Q,1} = 4,22 \text{ mm}$$

$$u_{inst,z,Q,1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{z,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,604 \cdot 10^3 \cdot 3\,200^4}{11\,000 \cdot 10^6 \cdot 7,78 \cdot 10^7}$$

$$u_{inst,z,Q,1} = 2,56 \text{ mm}$$

$$u_{inst,z,Q,i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{w_{z,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,054 \cdot 10^3 \cdot 3\,200^4}{11\,000 \cdot 10^6 \cdot 7,78 \cdot 10^7}$$

$$u_{inst,z,Q,i} = 1,68 \text{ mm}$$

$$u_{inst,y} = u_{inst,y,G} + u_{inst,y,Q,1} = 3,24 + 4,22 = 7,46 \text{ mm}$$

$$u_{inst,z} = u_{inst,z,G} + u_{inst,z,Q,1} + \psi_{0,i} \cdot u_{inst,z,Q,i}$$

$$u_{inst,z} = 1,97 + 2,56 + 0,6 \cdot 1,68 = 5,54 \text{ mm}$$

$$u_{inst} = \sqrt{u_{inst,y}^2 + u_{inst,z}^2} = \sqrt{7,46^2 + 5,54^2} = 9,29 \text{ mm}$$

$$u_{inst} \leq \frac{L}{300} = \frac{3\,200}{300} = 10,7 \text{ mm}$$

$$9,29 \text{ mm} < 10,7 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

4.2.6.3 KONEČNÝ PRŮHYB

$$k_{def} = 0,8$$

$$u_{fin,y,G} = u_{inst,y,G} \cdot (1 + k_{def}) = 3,24 \cdot (1 + 0,8) = 5,83 \text{ mm}$$

$$u_{fin,z,G} = u_{inst,z,G} \cdot (1 + k_{def}) = 1,97 \cdot (1 + 0,8) = 3,55 \text{ mm}$$

$$u_{fin,y,Q,1} = u_{inst,y,Q,1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 4,22 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 4,22 \text{ mm}$$

$$u_{fin,z,Q,1} = u_{inst,z,Q,1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 2,56 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 2,56 \text{ mm}$$

$$u_{fin,z,Q,i} = u_{inst,z,Q,i} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def})$$

$$u_{fin,z,Q,i} = 1,68 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,8) = 1,01 \text{ mm}$$

$$u_{fin,y} = u_{fin,y,G} + u_{fin,y,Q,1} = 5,83 + 4,22 = 10,1 \text{ mm}$$

$$u_{fin,z} = u_{fin,z,G} + u_{fin,z,Q,1} + u_{fin,z,Q,i}$$

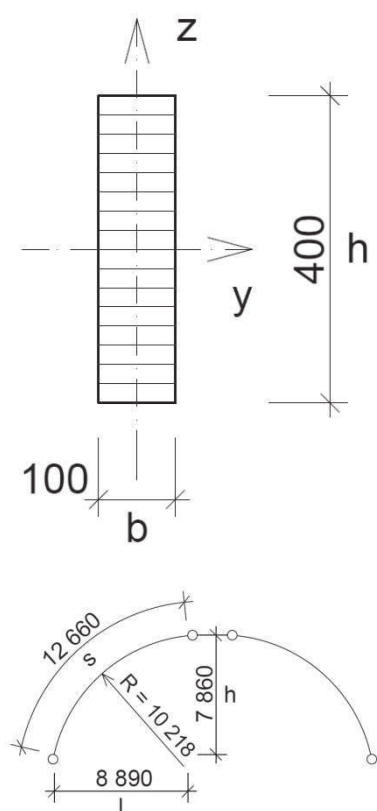
$$u_{fin,z} = 3,55 + 2,56 + 1,01 = 7,12 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = \sqrt{u_{fin,y}^2 + u_{fin,z}^2} = \sqrt{10,1^2 + 7,12^2} = 12,4 \text{ mm}$$

$$u_{fin} \leq \frac{L}{250} = \frac{3\,200}{250} = 12,8 \text{ mm}$$

$$12,4 \text{ mm} < 12,8 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



4.3 ŽEBRA

staticky budou působit jako dvoukloubové oblouky osazené pomocí čepových spojů v dolní části na kotevní bloky a v horní části k prstenci

4.3.1 GEOMETRIE

| | |
|-----------------------------|---|
| šířka | $b = 100 \text{ mm}$ |
| výška | $h = 400 \text{ mm}$ |
| plocha průřezu | $A = b \cdot h = 40\,000 \text{ mm}^2$ |
| moment setrvačnosti | $I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = 5,33 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$ |
| | $I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = 3,33 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$ |
| průřezový modul | $W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = 2,67 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$ |
| | $W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = 6,67 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ |
| poloměry setrvačnosti | $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 115 \text{ mm}$ |
| | $i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 28,9 \text{ mm}$ |
| rozpětí | $l = 8\,890 \text{ mm}$ |
| vzepětí | $h = 7\,860 \text{ mm}$ |
| délka střednice | $s = 12\,660 \text{ mm}$ |
| poloměr zakřivení střednice | $R = 10\,218 \text{ mm}$ |

4.3.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|---------------------------------------|---------------------|
| rostlé dřevo | GL24h |
| třída provozu | 2 |
| třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| hodnota k_{mod} | 0,90 |
| souč. vlastnosti materiálu γ_M | 1,25 |

| | |
|---|---|
| návrhová hodnota pevnosti | $f_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$ |
| charakteristická pevnost v ohybu | $f_{m,k} = 24,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v ohybu | $f_{m,d} = 17,3 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tahu | $f_{t,0,k} = 16,5 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tahu | $f_{t,0,d} = 11,9 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tahu \perp | $f_{t,90,k} = 0,400 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tahu \perp | $f_{t,90,d} = 0,288 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tlaku | $f_{c,0,k} = 24,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tlaku | $f_{c,0,d} = 17,3 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 2,70 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 1,94 \text{ MPa}$ |

moduly pružnosti

$$E_{0,mean} = 11\,600\,MPa$$

$$E_{0,05} = 9\,400\,MPa$$

hustota

$$\rho = 380\,kg/m^3$$

4.3.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

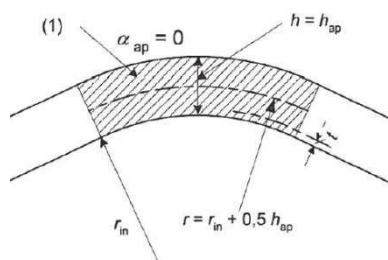
4.3.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM

>>

příloha F.1.2, F.1.3

| | N_d | $V_{y,d}$ | $V_{z,d}$ | $M_{y,d}$ | $M_{z,d}$ |
|-----------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|--------------|
| maximální tlak (A05) | - 96,014 | - 2,495 | - 16,199 | - 8,147 | 1,208 |
| maximální tah (A04) | 48,753 | - 4,124 | 7,895 | 3,997 | 2,003 |
| maximální posouvající síla (A05) | - 86,584 | - 3,336 | - 26,676 | 0,000 | 0,111 |
| maximální moment ve vrcholu (A04) | - 32,386 | - 0,097 | - 7,493 | 17,229 | - 0,130 |
| maximální moment $M_y +$ (A04) | - 42,947 | 0,026 | 9,375 | 18,941 | - 0,152 |
| maximální moment $M_y -$ (A01) | - 41,122 | - 0,103 | - 0,227 | - 19,297 | - 0,272 |
| maximální moment M_z (A02) | - 1,746 | 6,932 | 0,338 | - 0,148 | 3,144 |



4.3.5 POSOUZENÍ – MSÚ

4.3.5.1 PODÉLNÉ NORMÁLOVÉ NAPĚTÍ – VE VRCHOLU

$$h_{ap} = h = 400\,mm$$

$$\alpha_{ap} = 0^\circ$$

$$r_{in} = 10\,218\,mm$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 1 + 1,4 \cdot \operatorname{tg} 0 + 5,4 \cdot \operatorname{tg}^2 0$$

$$k_1 = 1,0$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} = 0,35 - 8 \cdot \operatorname{tg} 0 = 0,35$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 7,8 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 0,6 + 8,3 \cdot \operatorname{tg} 0 - 7,8 \cdot \operatorname{tg}^2 0$$

$$k_3 = 0,6$$

$$k_4 = 6 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 6 \cdot \operatorname{tg}^2 0 = 0$$

$$k_l = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3$$

$$k_l = 1,0 + 0,35 \cdot \left(\frac{400}{10\,218}\right) + 0,6 \cdot \left(\frac{400}{10\,218}\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{400}{10\,218}\right)^3$$

$$k_l = 1,015$$

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 1,015 \cdot \frac{6 \cdot 17,229 \cdot 10^6}{100 \cdot 400^2} = 6,56 \text{ MPa}$$

$$\frac{r_{in}}{t} = \frac{10\,218}{40} = 255 > 240 \gg k_r = 1,0$$

POSOUZENÍ

$$\sigma_{m,d} \leq k_r \cdot f_{m,d} = 1,0 \cdot 17,3 = 17,3 \text{ MPa}$$

$$6,56 < 17,3$$

VYHOVÍ

4.3.5.2 PŘÍČNÉ NORMÁLOVÉ NAPĚTÍ – VE VRCHOLU

$$k_5 = 0,2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} = 0,2 \cdot \operatorname{tg} 0 = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 2,6 \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap}$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \operatorname{tg} 0 + 2,6 \operatorname{tg}^2 0 = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 4 \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 2,1 \cdot \operatorname{tg} 0 - 4 \operatorname{tg}^2 0 = 0$$

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2$$

$$k_p = 0 + 0,25 \cdot \left(\frac{400}{10\,218}\right) + 0 \cdot \left(\frac{400}{10\,218}\right)^2$$

$$k_p = 0,0098$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 0,0098 \cdot \frac{6 \cdot 17,229 \cdot 10^6}{100 \cdot 400^2} = 0,063 \text{ MPa}$$

$$V_0 = 0,01 \text{ m}^3 \quad \text{referenční objem}$$

$$V = \frac{\beta \cdot \pi}{180} \cdot b \cdot (h_{ap}^2 + 2 \cdot r_{in} \cdot h_{ap})$$

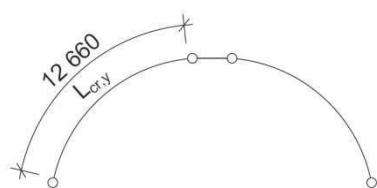
$$V = \frac{77 \cdot \pi}{180} \cdot 0,10 \cdot (0,40^2 + 2 \cdot 10,218 \cdot 0,40) = 1,12 \text{ m}^3$$

$$V \leq \frac{2}{3} \cdot V_b = \frac{2}{3} \cdot (A \cdot s) = \frac{2}{3} \cdot (0,040 \cdot 12,66) = 0,338 \text{ m}^3$$

$$1,12 \not\leq 0,338 \text{ m}^3 \gg V = 0,338 \text{ m}^3$$

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{0,338}\right)^{0,2} = 0,495$$

$$k_{dis} = 1,4$$



$$\beta_c = 0,1 \text{ (pro LLD)}$$

POSOUZENÍ

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 1,4 \cdot 0,495 \cdot 0,288 = 0,200 \text{ MPa}$$

$$0,063 < 0,200$$

VYHOVÍ

4.3.5.3 OHYB A OSOVÝ TAH

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{48,753 \cdot 10^3}{40\,000} = 1,22 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{3,997 \cdot 10^6}{2,67 \cdot 10^6} = 1,50 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{2,003 \cdot 10^6}{6,67 \cdot 10^5} = 3,00 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,22}{11,9} + 0,7 \cdot \frac{1,50}{17,3} + \frac{3,00}{17,3} \leq 1$$

$$0,337 < 1$$

VYHOVÍ

4.3.5.4 VZPĚR – V ROVINĚ ŽEBRA

$$\beta = 1,25 \gg \text{kloubové uložení oblouku}$$

$$L_{cr,y} = s \cdot \beta = 12\,660 \cdot 1,25 = 15\,825 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{15\,825}{115} = 138$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{138}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9\,400}} = 2,22$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (2,22 - 0,3) + 2,22^2) = 3,06$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{3,06 + \sqrt{3,06^2 - 2,22^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,194$$

POSOUZENÍ

maximální moment M_y –

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{41,122 \cdot 10^3}{40\,000} = 1,03 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{19,297 \cdot 10^6}{2,67 \cdot 10^6} = 7,23 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,272 \cdot 10^6}{6,67 \cdot 10^5} = 0,408 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,03}{0,194 \cdot 17,3} + \frac{7,23}{17,3} + 0,7 \cdot \frac{0,408}{17,3} \leq 1$$

$$0,741 < 1$$

VYHOVÍ

maximální tlak

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{96,014 \cdot 10^3}{40\,000} = 2,40 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{8,147 \cdot 10^6}{2,67 \cdot 10^6} = 3,05 \text{ MPa}$$

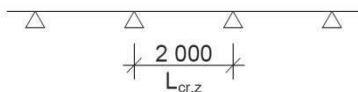
$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{1,208 \cdot 10^6}{6,67 \cdot 10^5} = 1,81 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{2,40}{0,194 \cdot 17,3} + \frac{3,05}{17,3} + 0,7 \cdot \frac{1,81}{17,3} \leq 1$$

$$0,965 < 1$$

VYHOVÍ



$$\beta_c = 0,1 \text{ (pro LLD)}$$

4.3.5.5 VZPĚR – Z ROVINY ŽEBRA

$$L_{cr,z} = 2\,000 \text{ mm} \gg \text{vybočení je bráněno vaznicemi}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2\,000}{28,9} = 69,2$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{69,2}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9\,400}} = 1,11$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,11 - 0,3) + 1,11^2) = 1,16$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,16 + \sqrt{1,16^2 - 1,11^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,668$$

POSOUZENÍ

maximální moment M_z

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{1,746 \cdot 10^3}{40\,000} = 0,044 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{0,148 \cdot 10^6}{2,67 \cdot 10^6} = 0,055 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{3,144 \cdot 10^6}{6,67 \cdot 10^5} = 4,71 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,044}{0,668 \cdot 17,3} + 0,7 \cdot \frac{0,055}{17,3} + \frac{4,71}{17,3} \leq 1$$

$$0,278 < 1$$

VYHOVÍ

4.3.5.6 KLOPENÍ – HORNÍ VLÁKNA

$$l_{ef} = 2\,000 \text{ mm} \gg \text{klopení je bráněno vaznicemi}$$

$$t = b = 100 \text{ mm}$$

$$a = h = 400 \text{ mm}$$

$$I_{tor} = \left(1 - 0,63 \cdot \frac{t}{a}\right) \cdot \frac{t^3 \cdot a}{3} = \left(1 - 0,63 \cdot \frac{100}{400}\right) \cdot \frac{100^3 \cdot 400}{3}$$

$$I_{tor} = 1,12 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$G_{0,05} = 583 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{9\,400 \cdot 3,33 \cdot 10^7 \cdot 583 \cdot 1,12 \cdot 10^8}}{2\,000 \cdot 2,66 \cdot 10^6} = 84,4 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{84,4}} = 0,533 < 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

KLOPENÍ NENASTANE

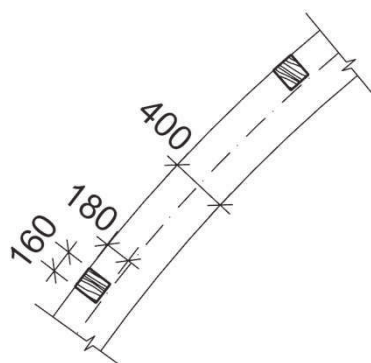
4.3.5.7 KLOPENÍ – DOLNÍ VLÁKNA

$$l_{ef} = 12\,660 \text{ mm} \gg \text{klopení není bráněno}$$

$$t = b = 100 \text{ mm}$$

$$a = h = 400 \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y}$$



$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{9\,400 \cdot 3,33 \cdot 10^7 \cdot 583 \cdot 1,12 \cdot 10^8}}{12\,660 \cdot 2,66 \cdot 10^6} = 13,3 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{13,3}} = 1,34 > 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} = 1,56 - 0,75 \cdot 1,34$$

$$k_{crit} = 0,555$$

POSOUZENÍ

maximální moment M_y –

$$\sigma_{c,d} = \sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{41,122 \cdot 10^3}{40\,000} = 1,03 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} = \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{19,297 \cdot 10^6}{2,67 \cdot 10^6} = 7,23 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{7,23}{0,555 \cdot 17,3} \right)^2 + \frac{1,03}{0,668 \cdot 17,3} \leq 1$$

$$0,656 < 1$$

VYHOVÍ

4.3.5.8 SMYK

$$V_d = \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2} = \sqrt{(-3,336)^2 + (-26,676)^2} = 26,884 \text{ KN}$$

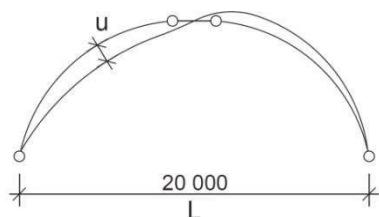
$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{26,884 \cdot 10^3}{40\,000} = 1,00 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$1,01 < 1,94$$

VYHOVÍ



4.3.6 POSOUZENÍ – MSP

žebro 1

hodnoty převzaty z programu RFEM >> příloha F.1.4

4.3.6.1 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{inst,G} = 0,60 \text{ mm}$$

4.3.6.2 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{w,z} = 18,6 \text{ mm} \quad \text{ZS5 – vítr západní}$$

$$u_{s,na} = 6,30 \text{ mm} \quad \text{ZS4 – sníh navátý}$$

$$u_{inst,Q,1} = u_{w,z} = 18,6 \text{ mm}$$

$$u_{inst,Q,i} = u_{s,na} = 6,30 \text{ mm}$$

$$u_{inst} = u_{inst,G} + u_{inst,Q,1} + \psi_{0,i} \cdot u_{inst,Q,i}$$

$$u_{inst} = 0,60 + 18,6 + 0,5 \cdot 6,30 = 22,4 \text{ mm}$$

$$u_{inst} \leq \frac{L}{500} = \frac{20\,000}{500} = 40,0 \text{ mm}$$

$$22,4 \text{ mm} < 40,0 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

4.3.6.3 KONEČNÝ PRŮHYB

$$k_{def} = 0,8$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 0,60 \cdot (1 + 0,8) = 1,08 \text{ mm}$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 18,6 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 18,6 \text{ mm}$$

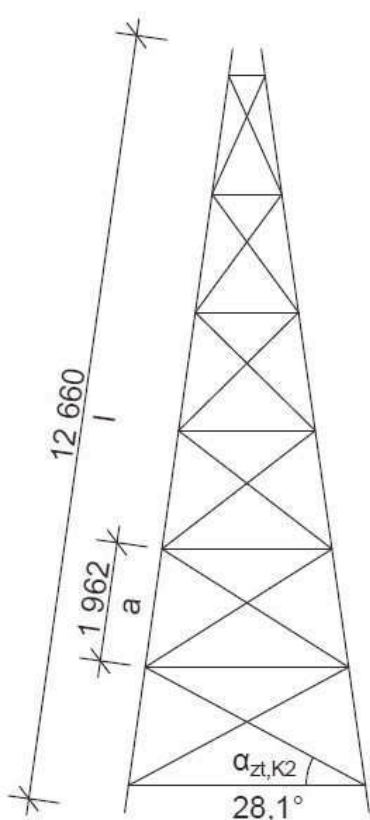
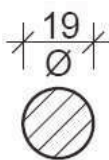
$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def}) = 6,30 \cdot (0,5 + 0 \cdot 0,8) = 3,15 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q,1} + u_{fin,Q,i} = 1,08 + 18,6 + 3,15 = 22,8 \text{ mm}$$

$$u_{fin} \leq \frac{L}{350} = \frac{20\,000}{350} = 57,1 \text{ mm}$$

$$22,8 \text{ mm} < 57,1 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



4.4 ZTUŽIDLA

jsou tvořena diagonálními ocelovými táhly Macalloy 460 o průměru $\varnothing 19$ mm osazenými v místech vaznic pomocí koncovek FA20 a čepu PA20 systému Macalloy 460 na plechy připevněné na žebra

4.4.1 GEOMETRIE

průměr táhla $d = 19 \text{ mm}$
 délka táhla $L = 4\,188 \text{ mm}$

4.4.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

ocel S460
 mez kluzu $f_y = 460 \text{ MPa}$
 mez pevnosti $f_u = 610 \text{ MPa}$

4.4.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

4.4.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM >> příloha F.1.5
 maximální tahová síla $N_{Ed} = 70,081 \text{ KN}$
 (ztužidlo K2 – KV25)

4.4.5 STABILIZUJÍCÍ SÍLY

průměrná návrhová tlaková síla v prvku $N_d = 14,991 \text{ KN}$
 (ztužidlo K2 – KV25)
 celkové rozpětí stabilizující soustavy $l = 12,66 \text{ m}$
 délka pole $a = 1,962 \text{ m}$
 počet žebor připadajících na jedno ztužidlo $n = 4$
 modifikační součinitel $k_{f,3} = 30$
 odklon ztužidla $\alpha_{zt,K2} = 28,1^\circ$

$$k_l = \min \left\{ \sqrt{\frac{1}{15}} = \min \left\{ \sqrt{\frac{1}{12,66}} = \min \left\{ 1,09 = 1,0 \right. \right. \right.$$

$$q_d = k_l \cdot \frac{n \cdot N_d}{k_{f,3} \cdot l} = 1,0 \cdot \frac{4 \cdot 14,991}{30 \cdot 12,66} = 0,158 \text{ KN/m}$$

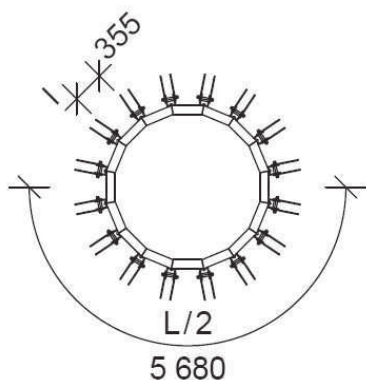
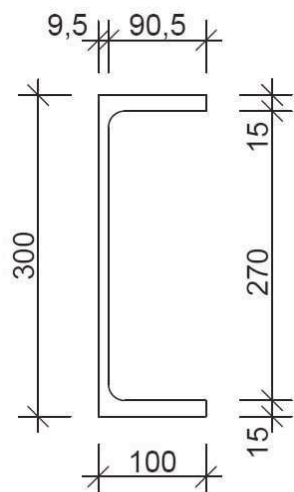
$$Q_d = q_d \cdot a = 0,158 \cdot 1,962 = 0,310 \text{ KN}$$

$$N_{q,d} = \frac{Q_d}{\cos \alpha_{zt,K2}} = \frac{0,310}{\cos 28,1} = 0,351 \text{ KN}$$

4.4.6 POSOUZENÍ – MSÚ

4.4.6.1 TAH

minimální mez kluzu táhla $N_{t,Rd} = 108,000 \text{ KN}$ viz 7.2



POSOUZENÍ

$$\frac{(N_{Ed} + N_{q,d})}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{(70,081 + 0,351)}{108,000} \leq 1,0$$

$$0,652 < 1$$

VYHOVÍ

4.5 PRSTENEC

je tvořen polygonálně lomeným obloukem z válcovaných profilů UPE 300

4.5.1 GEOMETRIE

| | |
|---------------------------|--|
| válcovaný profil | UPE 300 |
| výška | $h = 300 \text{ mm}$ |
| šířka | $b = 100 \text{ mm}$ |
| výška stojiny | $h_w = 270 \text{ mm}$ |
| tloušťka stojiny | $t_w = 9,5 \text{ mm}$ |
| tloušťka pásnice | $t_f = 15 \text{ mm}$ |
| poloměr zaoblení | $r = 15 \text{ mm}$ |
| plocha průřezu | $A = 5\,660 \text{ mm}^2$ |
| smyková plocha | $A_{vy} = A - h_w \cdot t_w = 3\,095 \text{ mm}^2$ |
| | $A_{vz} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f$ |
| | $A_{vz} = 3\,030 \text{ mm}^2$ |
| momenty setrvačnosti | $I_y = 7,82 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$ |
| | $I_z = 5,38 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$ |
| | $I_t = 3,15 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$ |
| průřezové moduly | $W_{pl,y} = 6,13 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ |
| | $W_{pl,z} = 1,37 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ |
| poloměry setrvačnosti | $i_y = 118 \text{ mm}$ |
| | $i_z = 30,8 \text{ mm}$ |
| délka prstence | $L = 5\,680 \text{ mm}$ |
| délka prstence mezi žebry | $l = 355 \text{ mm}$ |

4.5.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|--------------|-------------------------|
| ocel | S355 |
| mez kluzu | $f_y = 355 \text{ MPa}$ |
| mez pevnosti | $f_u = 510 \text{ MPa}$ |

4.5.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

4.5.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM

>>

příloha F.1.6

| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | M _{y,d} | M _{z,d} | M _{t,d} |
|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| maximální tlak | - 37,580 | 7,817 | - 2,387 | 0,951 | 4,589 | - 0,109 |
| maximální tah | 12,610 | 0,000 | 0,093 | - 2,608 | - 15,339 | 0,000 |
| maximální posouvající síla Vy | - 1,563 | 30,640 | - 6,497 | 1,659 | 7,151 | 1,439 |
| maximální posouvající síla Vz | - 14,480 | - 26,731 | 8,433 | 0,058 | 5,119 | - 0,970 |
| maximální moment My | - 10,930 | 26,822 | - 8,082 | 3,538 | 16,480 | 1,081 |
| maximální moment Mz | - 9,846 | - 8,973 | 1,325 | 2,584 | 16,610 | - 0,137 |
| maximální moment Mt | 0,848 | 26,409 | - 7,281 | 1,683 | 5,890 | 1,539 |

4.5.5 POSOUZENÍ – MSÚ**4.5.5.1 OHYB A OSOVÁ SÍLA**

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5\,660 \cdot 355}{1,0} = 2\,009,3 \text{ KN}$$

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6,13 \cdot 10^5 \cdot 355}{1,0} = 217,615 \text{ KNm}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,37 \cdot 10^5 \cdot 355}{1,0} = 48,635 \text{ KNm}$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot [1 - (N_{Ed} / N_{pl,Rd})^2]$$

$$M_{N,y,Rd} = 217,615 \cdot [1 - (10,930 / 2\,009,3)^2] = 217,609 \text{ KNm}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot [1 - (N_{Ed} / N_{pl,Rd})^2]$$

$$M_{N,z,Rd} = 48,635 \cdot [1 - (10,930 / 2\,009,3)^2] = 48,634 \text{ KNm}$$

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 10,930 / 2\,009,3 = 0,005$$

$$\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot n^2} = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot 0,005^2} = 1,66$$

POSOUZENÍ

maximální moment M_y

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

$$\left[\frac{3,538}{217,609} \right]^{1,66} + \left[\frac{16,480}{48,634} \right]^{1,66} \leq 1$$

$$0,167 < 1$$

VYHOVÍ

maximální moment M_z

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

$$\left[\frac{2,584}{217,609} \right]^{1,66} + \left[\frac{16,610}{48,634} \right]^{1,66} \leq 1$$

$$0,169 < 1$$

VYHOVÍ

4.5.5.2 VZPĚŘ

$$\beta = 1,0 \quad \gg \quad \text{prosté podepření}$$

$$L_{cr,y} = \frac{L}{2} \cdot \beta = \frac{5\,680}{2} \cdot 1,0 = 2\,840 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = l \cdot \beta = 355 \cdot 1,0 = 355 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210\,000}{355}} = 76,4$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{2\,840}{118} \cdot \frac{1}{76,4} = 0,315$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{355}{30,8} \cdot \frac{1}{76,4} = 0,151 < 0,2 \quad \gg \quad \text{vzpěr nenastane}$$

$$\alpha = 0,49 \text{ (vzpěrná křivka c)}$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2)$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (0,315 - 0,2) + 0,315^2) = 0,578$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,578 + \sqrt{0,578^2 - 0,315^2}}$$

$$\chi_y = 0,941$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 1,0 = 1,0 \geq 0,4$$

$$C_{my} = 1,0$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 1,0 = 1,0 \geq 0,4$$

$$C_{mz} = 1,0$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 1,0 = 1,0 \geq 0,4$$

$$C_{mLT} = 1,0$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 5\,660 \cdot 355 = 2\,009,3 \text{ KN}$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 1,0 \cdot \left(1 + (0,315 - 0,2) \cdot \frac{10,930}{0,941 \cdot 2\,009,3 / 1,0} \right)$$

$$k_{yy} = 1,001$$

$$k_{yy} \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} \leq 1,0 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{10,930}{0,941 \cdot 2\,009,3 / 1,0} \right)$$

$$k_{yy} \leq 1,005$$

VYHOVÍ

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + (\lambda_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,0 \cdot \left(1 + (0,151 - 0,2) \cdot \frac{10,930}{1,0 \cdot 2\,009,3 / 1,0} \right)$$

$$k_{zz} = 1,0$$

$$k_{zz} \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} \leq 1,0 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{10,930}{1,0 \cdot 2\,009,3 / 1,0} \right)$$

$$k_{zz} \leq 1,004$$

VYHOVÍ

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,0 = 0,6$$

$$k_{zy} = 0,6 + \lambda_z \leq 1 - \frac{0,1 \cdot \lambda_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}}$$

$$k_{zy} = 0,6 + 0,151 \leq 1 - \frac{0,1 \cdot 0,151}{(1,0 - 0,25)} \cdot \frac{10,930}{1,0 \cdot 2\,009,3 / 1,0}$$

$$k_{zy} = 0,751 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

$$k_{zy} = 0,751$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 6,13 \cdot 10^5 \cdot 355 = 217,615 \text{ KNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 1,37 \cdot 10^5 \cdot 355 = 48,635 \text{ KNm}$$

POSOUZENÍ

maximální moment M_y

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{10,930}{\frac{0,941 \cdot 2\,009,3}{1,0}} + 1,001 \cdot \frac{3,538 + 0}{\frac{1,0 \cdot 217,615}{1,0}} + 0,6 \cdot \frac{16,480 + 0}{\frac{48,635}{1,0}} \leq 1$$

$$0,225 < 1$$

VYHOVÍ

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{10,930}{\frac{1,0 \cdot 2\,009,3}{1,0}} + 0,751 \cdot \frac{3,538 + 0}{\frac{1,0 \cdot 217,615}{1,0}} + 1,0 \cdot \frac{16,480 + 0}{\frac{48,635}{1,0}} \leq 1$$

$$0,357 < 1$$

VYHOVÍ

maximální moment M_z

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{9,846}{\frac{0,941 \cdot 2\,009,3}{1,0}} + 1,001 \cdot \frac{2,584 + 0}{\frac{1,0 \cdot 217,615}{1,0}} + 0,6 \cdot \frac{16,610 + 0}{\frac{48,635}{1,0}} \leq 1$$

$$0,222 < 1$$

VYHOVÍ

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{9,846}{\frac{1,0 \cdot 2\,009,3}{1,0}} + 0,751 \cdot \frac{2,584 + 0}{\frac{1,0 \cdot 217,615}{1,0}} + 1,0 \cdot \frac{16,610 + 0}{\frac{48,635}{1,0}} \leq 1$$

$$0,355 < 1$$

VYHOVÍ

4.5.5.3 KOMBINACE OSOVÉ SÍLY, OHYBU A KROUCENÍ

maximální moment M_y

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{10,930 \cdot 10^3}{5\,660} = 1,93 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_{pl,y}} = \frac{3,538 \cdot 10^6}{6,13 \cdot 10^5} = 5,77 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_{pl,z}} = \frac{16,480 \cdot 10^6}{1,37 \cdot 10^5} = 120 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{c,0,d} + \sigma_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d} = 1,93 + 5,77 + 120 = 128 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \frac{M_{t,d} \cdot t_f}{I_t} = \frac{1,081 \cdot 10^6 \cdot 15}{3,15 \cdot 10^5} = 51,5 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right)^2 \leq 1$$

$$\left(\frac{128}{355/1,0} \right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{51,5}{355/1,0} \right)^2 \leq 1$$

$$0,193 < 1$$

VYHOVÍ

maximální moment M_t

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{0,848 \cdot 10^3}{5\,660} = 0,150 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_{pl,y}} = \frac{1,683 \cdot 10^6}{6,13 \cdot 10^5} = 2,75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_{pl,z}} = \frac{5,890 \cdot 10^6}{1,37 \cdot 10^5} = 43,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{c,0,d} + \sigma_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d} = 0,150 + 2,75 + 43,0 = 45,9 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \frac{M_{t,d} \cdot t_f}{I_t} = \frac{1,539 \cdot 10^6 \cdot 15}{3,15 \cdot 10^5} = 73,3 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right)^2 \leq 1$$

$$\left(\frac{45,9}{355/1,0} \right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{73,3}{355/1,0} \right)^2 \leq 1$$

$$0,145 < 1$$

VYHOVÍ

4.5.5.4 SMYK

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{vy} \cdot (f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{3\,095 \cdot (355/\sqrt{3})}{1,0} = 634,349 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot (f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{3\,030 \cdot (355/\sqrt{3})}{1,0} = 621,027 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,y,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{30,640}{634,349} \leq 1$$

$$0,048 \leq 1$$

$$0,048 \leq 0,5 \gg \text{zanedbání vlivu na únosnost v ohybu}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{8,433}{621,027} \leq 1$$

$$0,014 \leq 1$$

$$0,014 \leq 0,5 \gg \text{zanedbání vlivu na únosnost v ohybu}$$

5 POSOUZENÍ PRVKŮ – VARIANTA B

5.1 STŘEŠNÍ PLÁŠŤ

viz 4.1

5.2 HORNÍ PÁSY VAZNIC

staticky budou působit jako nosníky osazené do třmenů vsazených mezi horní pásy žeber a podepírané uprostřed rozpětí dvojicí diagonál

5.2.1 GEOMETRIE

| | | vaznice 2, 3, 4 | vaznice 5 |
|-----------------------|-------|--|--|
| šířka | b | 160 mm | 120 mm |
| výška | h | 160 mm | 120 mm |
| plocha průřezu | A | 25 600 mm ² | 14 400 mm ² |
| momenty setrvačnosti | I_y | 5,46 · 10 ⁷ mm ⁴ | 1,73 · 10 ⁷ mm ⁴ |
| | I_z | 5,46 · 10 ⁷ mm ⁴ | 1,73 · 10 ⁷ mm ⁴ |
| průřezové moduly | W_y | 6,83 · 10 ⁵ mm ³ | 2,88 · 10 ⁵ mm ³ |
| | W_z | 6,83 · 10 ⁵ mm ³ | 2,88 · 10 ⁵ mm ³ |
| poloměry setrvačnosti | i_y | 46,2 mm | 34,6 mm |
| | i_z | 46,2 mm | 34,6 mm |
| rozpětí | L | 3 610 mm 3 200 mm 2 670 mm | 2 050 mm |
| osová vzdálenost | B | 2000 mm | 2000 mm |

5.2.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

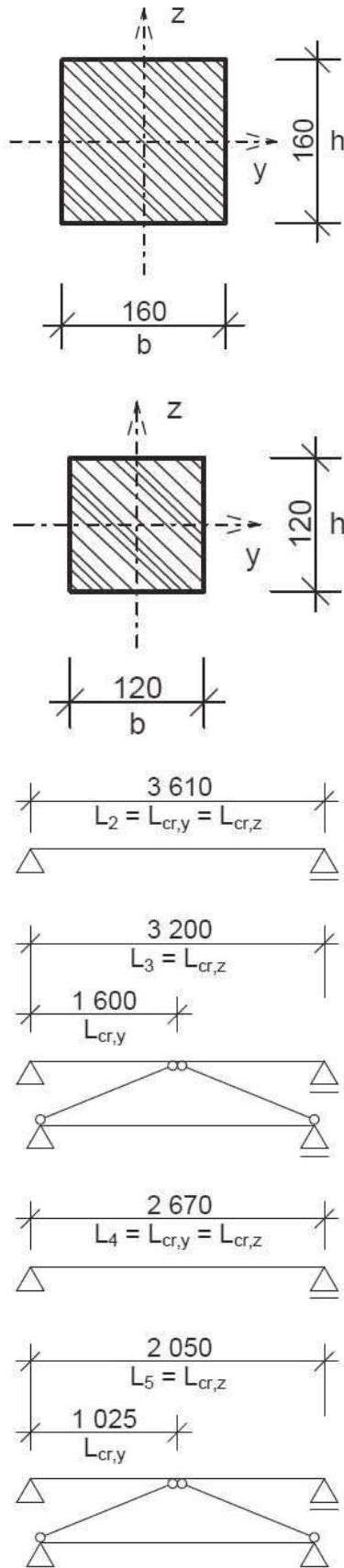
| | |
|---------------------------------------|---------------------|
| rostlé dřevo | C22 |
| třída provozu | 2 |
| třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| hodnota k_{mod} | 0,90 |
| souč. vlastnosti materiálu γ_M | 1,30 |

| | |
|---------------------------|--|
| návrhová hodnota pevnosti | $f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$ |
|---------------------------|--|

| | |
|----------------------------------|------------------------------|
| charakteristická pevnost v ohybu | $f_{m,k} = 22,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v ohybu | $f_{m,d} = 15,2 \text{ MPa}$ |

| | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| charakteristická pevnost v tahu | $f_{t,0,k} = 13,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tahu | $f_{t,0,d} = 9,0 \text{ MPa}$ |

| | |
|----------------------------------|--------------------------------|
| charakteristická pevnost v tlaku | $f_{c,0,k} = 20,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tlaku | $f_{c,0,d} = 13,8 \text{ MPa}$ |



| | |
|-----------------------------------|---|
| charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 3,80 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 2,63 \text{ MPa}$ |
| moduly pružnosti | $E_{0,mean} = 10\,000 \text{ MPa}$ $E_{0,05} = 6\,700 \text{ MPa}$ |
| hustota | $\rho = 340 \text{ kg/m}^3$ |

5.2.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

5.2.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM >> příloha F.2.1

$$V_d = \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2}$$

| | návrhové vnitřní síly – maximální tlak | | | | | |
|---|--|-----------|-----------|-------|-----------|-----------|
| | N_d | $V_{y,d}$ | $V_{z,d}$ | V_d | $M_{y,d}$ | $M_{z,d}$ |
| 2 | - 27,606 | 4,424 | - 4,113 | 6,041 | 0,000 | 0,000 |
| 3 | - 27,796 | 0,006 | 3,476 | 3,476 | - 0,380 | - 4,626 |
| 4 | - 17,212 | 2,955 | 0,533 | 3,003 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | - 27,408 | 2,116 | 0,868 | 2,287 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové vnitřní síly – maximální tah | | | | | |
|---|---------------------------------------|-----------|-----------|-------|-----------|-----------|
| | N_d | $V_{y,d}$ | $V_{z,d}$ | V_d | $M_{y,d}$ | $M_{z,d}$ |
| 2 | 10,031 | 4,424 | - 0,236 | 4,430 | 0,000 | 0,000 |
| 3 | 29,127 | - 0,033 | - 0,736 | 0,737 | - 0,148 | - 3,358 |
| 4 | 9,068 | 2,425 | - 1,649 | 2,933 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | 21,285 | 1,553 | - 0,481 | 1,626 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové vnitřní síly – maximální posouvající síla | | | | | |
|---|--|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|
| | N_d | $V_{y,d}$ | $V_{z,d}$ | V_d | $M_{y,d}$ | $M_{z,d}$ |
| 2 | 0,840 | 4,424 | 5,964 | 7,426 | 0,000 | 0,000 |
| 3 | - 7,068 | 8,502 | 1,162 | 8,581 | 0,000 | 0,000 |
| 4 | - 13,224 | 6,055 | 6,844 | 9,138 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | 0,181 | 3,825 | 1,729 | 4,198 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové vnitřní síly – maximální moment M_y | | | | | |
|---|--|-----------|-----------|-------|----------------|-----------|
| | N_d | $V_{y,d}$ | $V_{z,d}$ | V_d | $M_{y,d}$ | $M_{z,d}$ |
| 2 | 0,840 | 0,492 | 0,663 | 0,826 | 5,315 | - 3,943 |
| 3 | - 22,860 | 4,232 | - 0,381 | 4,249 | 1,302 | - 5,085 |
| 4 | - 10,033 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 4,594 | - 3,642 |
| 5 | - 15,732 | 0,023 | 3,916 | 3,916 | - 0,673 | - 1,941 |

| | návrhové vnitřní síly – maximální moment M_z | | | | | |
|---|--|-----------|-----------|-------|-----------|----------------|
| | N_d | $V_{y,d}$ | $V_{z,d}$ | V_d | $M_{y,d}$ | $M_{z,d}$ |
| 2 | - 1,567 | 0,492 | 0,245 | 0,550 | 1,966 | - 3,943 |
| 3 | - 7,068 | 0,008 | - 1,994 | 1,994 | - 0,666 | - 6,808 |
| 4 | - 13,224 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 4,573 | - 4,046 |
| 5 | 0,181 | - 0,013 | - 2,716 | 2,716 | - 0,505 | - 1,951 |

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \quad \tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}$$

| | návrhové napětí – maximální tlak | | | |
|---|----------------------------------|----------|------------------|------------------|
| | $\sigma_{c,0,d}$ | τ_d | $\sigma_{m,y,d}$ | $\sigma_{m,z,d}$ |
| 2 | - 1,078 | 0,354 | 0,000 | 0,000 |
| 3 | - 1,086 | 0,204 | 0,557 | 6,776 |
| 4 | - 0,672 | 0,176 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | - 1,903 | 0,238 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové napětí – maximální tah | | | |
|---|---------------------------------|----------|------------------|------------------|
| | $\sigma_{t,0,d}$ | τ_d | $\sigma_{m,y,d}$ | $\sigma_{m,z,d}$ |
| 2 | 0,392 | 0,260 | 0,000 | 0,000 |
| 3 | 1,138 | 0,043 | 0,217 | 4,919 |
| 4 | 0,354 | 0,172 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | 1,478 | 0,169 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové napětí – maximální posouvající síla | | | |
|---|--|--------------|------------------|------------------|
| | $\sigma_{c,0,d}$ | τ_d | $\sigma_{m,y,d}$ | $\sigma_{m,z,d}$ |
| 2 | 0,033 | 0,435 | 0,000 | 0,000 |
| 3 | - 0,276 | 0,503 | 0,000 | 0,000 |
| 4 | - 0,517 | 0,535 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | 0,013 | 0,437 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové napětí – maximální moment M_y | | | |
|---|--|----------|------------------|------------------|
| | $\sigma_{c,0,d}$ | τ_d | $\sigma_{m,y,d}$ | $\sigma_{m,z,d}$ |
| 2 | 0,033 | 0,048 | 7,786 | 5,776 |
| 3 | - 0,893 | 0,249 | 1,907 | 7,449 |
| 4 | - 0,392 | 0,000 | 6,729 | 5,335 |
| 5 | - 1,093 | 0,408 | 2,337 | 6,740 |

| | návrhové napětí – maximální moment M_z | | | |
|---|--|----------|------------------|------------------|
| | $\sigma_{c,0,d}$ | τ_d | $\sigma_{m,y,d}$ | $\sigma_{m,z,d}$ |
| 2 | - 0,061 | 0,032 | 2,880 | 5,776 |
| 3 | - 0,276 | 0,117 | 0,976 | 9,973 |
| 4 | - 0,517 | 0,000 | 6,699 | 5,927 |
| 5 | 0,013 | 0,283 | 1,753 | 6,774 |

5.2.5 POSOUZENÍ – MSÚ

5.2.5.1 TAH ROVNOBĚŽNĚ S VLÁKNY

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1 \quad (1)$$

5.2.5.2 VZPĚR – VAZNICE 2

$$\beta = 1,0 \quad \gg \quad \text{prosté podepření}$$

$$L_{cr,yz} = L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_2 \cdot \beta = 3\,610 \cdot 1,0 = 3\,610 \text{ mm}$$

$$\lambda_{yz} = \frac{L_{cr,yz}}{i_{yz}} = \frac{3\,610}{46,2} = 78,1$$

$$\lambda_{rel,yz} = \frac{\lambda_{yz}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{78,1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{20}{6\,700}} = 1,36$$

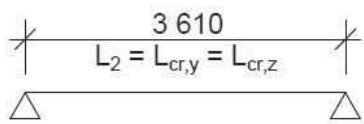
$$\beta_c = 0,2 \quad (\text{pro rostlé dřevo})$$

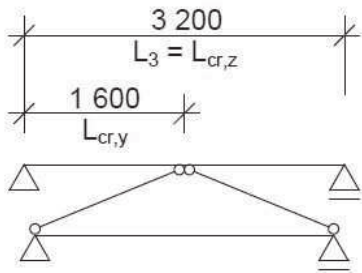
$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,yz} - 0,3) + \lambda_{rel,yz}^2)$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,36 - 0,3) + 1,36^2) = 1,53$$

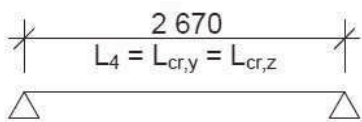
$$k_{c,yz} = \frac{1}{k_{yz} + \sqrt{k_{yz}^2 - \lambda_{rel,yz}^2}} = \frac{1}{1,53 + \sqrt{1,53^2 - 1,36^2}}$$

$$k_{c,yz} = 0,448$$





$\beta_c = 0,2$ (pro rostlé dřevo)



5.2.5.3 VZPĚR – VAZNICE 3

$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

$$L_{cr,y} = \frac{L_3}{2} \cdot \beta = \frac{3\,200}{2} \cdot 1,0 = 1\,600 \text{ mm}$$

>> podepírané uprostřed rozpětí dvojicí diagonál

$$L_{cr,z} = L_3 \cdot \beta = 3\,200 \cdot 1,0 = 3\,200 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1\,600}{46,2} = 34,6$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3\,200}{46,2} = 69,3$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{34,6}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{20}{6\,700}} = 0,60$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{69,3}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{20}{6\,700}} = 1,20$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (0,60 - 0,3) + 0,60^2) = 0,71$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,20 - 0,3) + 1,20^2) = 1,32$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,71 + \sqrt{0,71^2 - 0,60^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,918$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,32 + \sqrt{1,32^2 - 1,20^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,535$$

5.2.5.4 VZPĚR – VAZNICE 4

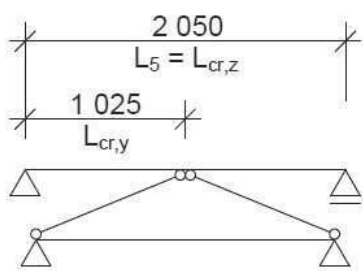
$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

$$L_{cr,yz} = L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_4 \cdot \beta = 2\,670 \cdot 1,0 = 2\,670 \text{ mm}$$

$$\lambda_{yz} = \frac{L_{cr,yz}}{i_{yz}} = \frac{2\,670}{46,2} = 57,8$$

$$\lambda_{rel,yz} = \frac{\lambda_{yz}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{57,8}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{20}{6\,700}} = 1,01$$

$$\beta_c = 0,2 \text{ (pro rostlé dřevo)}$$



$$\beta_c = 0,2 \text{ (pro rostlé dřevo)}$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,yz} - 0,3) + \lambda_{rel,yz}^2)$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,01 - 0,3) + 1,01^2) = 1,08$$

$$k_{c,yz} = \frac{1}{k_{yz} + \sqrt{k_{yz}^2 - \lambda_{rel,yz}^2}} = \frac{1}{1,08 + \sqrt{1,08^2 - 1,01^2}}$$

$$k_{c,yz} = 0,684$$

5.2.5.5 VZPĚR – VAZNICE 5

$$\beta = 1,0 \gg \text{prosté podepření}$$

$$L_{cr,y} = \frac{L_5}{2} \cdot \beta = \frac{2\,050}{2} \cdot 1,0 = 1\,025 \text{ mm}$$

$$\gg \text{podepírané uprostřed rozpětí dvojicí diagonál}$$

$$L_{cr,z} = L_5 \cdot \beta = 2\,050 \cdot 1,0 = 2\,050 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1\,025}{34,6} = 29,6$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2\,050}{34,6} = 59,2$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{29,6}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{20}{6\,700}} = 0,51$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{59,2}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{20}{6\,700}} = 1,03$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (0,51 - 0,3) + 0,51^2) = 0,65$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,03 - 0,3) + 1,03^2) = 1,10$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,65 + \sqrt{0,65^2 - 0,51^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,950$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,10 + \sqrt{1,10^2 - 1,03^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,673$$

POSOUZENÍ

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (2)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3)$$

5.2.5.6 SMYK

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (4)$$

| | podmínky | | | |
|---|----------|-------|-------|-------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) |
| 2 | 0,044 | 0,778 | 0,739 | 0,165 |
| 3 | 0,126 | 0,539 | 0,738 | 0,191 |
| 4 | 0,039 | 0,730 | 0,753 | 0,203 |
| 5 | 0,164 | 0,548 | 0,669 | 0,160 |

VYHOVÍ

5.2.5.7 KLOPENÍ

$$\sigma_{m,crit,2,3,4} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 160^2}{160 \cdot 3\,610} \cdot 6\,700 = 232 \text{ MPa}$$

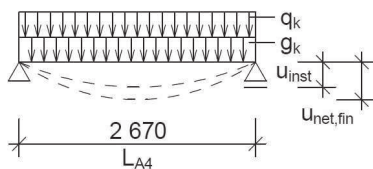
$$\sigma_{m,crit,5} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 120^2}{120 \cdot 2\,050} \cdot 6\,700 = 306 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,2,3,4}}} = \sqrt{\frac{22}{232}} = 0,308 < 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

KLOPENÍ NENASTANE

5.2.6 POSOUZENÍ – MSP

vaznice A4



5.2.6.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ

$$\text{vlastní tíha} \quad g_{0,k,A4} = A_{A4} \cdot \rho = 0,0256 \cdot 3,4 = 0,087 \text{ KN/m}$$

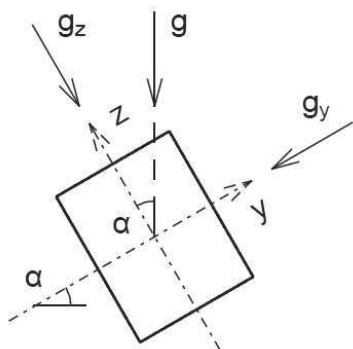
$$\text{střešní plášť} \quad g_{1,k}' = 1,524 \text{ KN/m} \quad \text{viz 2.1.2}$$

$$\text{podhled} \quad g_{2,k}' = 0,400 \text{ KN/m} \quad \text{viz 2.1.3}$$

$$\Sigma \text{ stálé zatížení} \quad g_{k,A4} = g_{0,k,A4} + g_{1,k}' + g_{2,k}' = 2,011 \text{ KN/m}$$

5.2.6.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

viz 2.2



5.2.6.3 ROZKLAD ZATÍŽENÍ

$$g_y = g \cdot \sin \alpha \quad g_z = g \cdot \cos \alpha$$

| | α [°] | stálé zatížení | | | sníh | | | vítr |
|----|-----------------|----------------|-----------|-----------|-------|-----------|-----------|-----------|
| | | g_k | $g_{y,k}$ | $g_{z,k}$ | s_k | $s_{y,k}$ | $s_{z,k}$ | $w_{z,k}$ |
| A4 | 41,5 | 2,011 | 1,333 | 1,506 | 2,278 | 1,509 | 1,706 | 0,594 |

5.2.6.4 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{inst,y,G} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{y,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,333 \cdot 10^3 \cdot 2\,670^4}{10\,000 \cdot 10^6 \cdot 5,46 \cdot 10^7}$$

$$u_{inst,y,G} = 1,62 \text{ mm}$$

$$u_{inst,z,G} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{z,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,506 \cdot 10^3 \cdot 2\,670^4}{10\,000 \cdot 10^6 \cdot 5,46 \cdot 10^7}$$

$$u_{inst,z,G} = 1,83 \text{ mm}$$

5.2.6.5 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{inst,y,Q,1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{y,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,509 \cdot 10^3 \cdot 2\,670^4}{10\,000 \cdot 10^6 \cdot 5,46 \cdot 10^7}$$

$$u_{inst,y,Q,1} = 1,83 \text{ mm}$$

$$u_{inst,z,Q,1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{z,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,706 \cdot 10^3 \cdot 2\,670^4}{10\,000 \cdot 10^6 \cdot 5,46 \cdot 10^7}$$

$$u_{inst,z,Q,1} = 2,07 \text{ mm}$$

$$u_{inst,z,Q,i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{w_{z,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,594 \cdot 10^3 \cdot 2\,670^4}{10\,000 \cdot 10^6 \cdot 5,46 \cdot 10^7}$$

$$u_{inst,z,Q,i} = 0,72 \text{ mm}$$

$$u_{inst,y} = u_{inst,y,G} + u_{inst,y,Q,1} = 1,62 + 1,83 = 3,45 \text{ mm}$$

$$u_{inst,z} = u_{inst,z,G} + u_{inst,z,Q,1} + \psi_{0,i} \cdot u_{inst,z,Q,i}$$

$$u_{inst,z} = 1,83 + 2,07 + 0,6 \cdot 0,72 = 4,33 \text{ mm}$$

$$u_{inst} = \sqrt{u_{inst,y}^2 + u_{inst,z}^2} = \sqrt{3,45^2 + 4,33^2} = 5,54 \text{ mm}$$

$$u_{inst} \leq \frac{L}{450} = \frac{2\,670}{450} = 5,93 \text{ mm}$$

$$5,54 \text{ mm} < 5,93 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

5.2.6.6 KONEČNÝ PRŮHYB

$$k_{def} = 0,8$$

$$u_{fin,y,G} = u_{inst,y,G} \cdot (1 + k_{def}) = 1,62 \cdot (1 + 0,8) = 2,92 \text{ mm}$$

$$u_{fin,z,G} = u_{inst,z,G} \cdot (1 + k_{def}) = 1,83 \cdot (1 + 0,8) = 3,29 \text{ mm}$$

$$u_{fin,y,Q,1} = u_{inst,y,Q,1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 1,83 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 1,83 \text{ mm}$$

$$u_{fin,z,Q,1} = u_{inst,z,Q,1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 2,07 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 2,07 \text{ mm}$$

$$u_{fin,z,Q,i} = u_{inst,z,Q,i} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def})$$

$$u_{fin,z,Q,i} = 0,72 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,8) = 0,43 \text{ mm}$$

$$u_{fin,y} = u_{fin,y,G} + u_{fin,y,Q,1} = 2,92 + 1,83 = 4,75 \text{ mm}$$

$$u_{fin,z} = u_{fin,z,G} + u_{fin,z,Q,1} + u_{fin,z,Q,i}$$

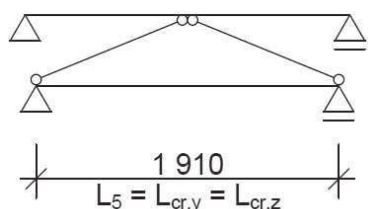
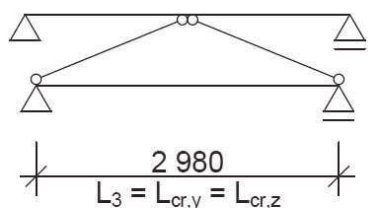
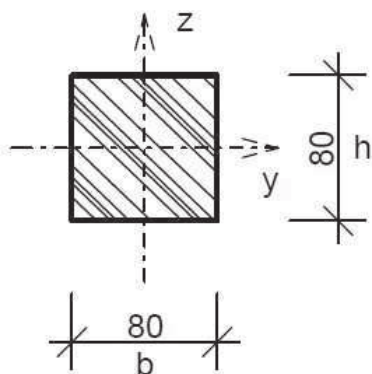
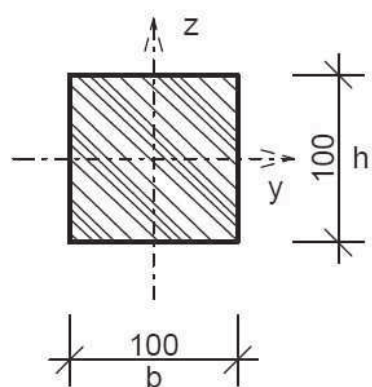
$$u_{fin,z} = 3,29 + 2,07 + 0,43 = 5,79 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = \sqrt{u_{fin,y}^2 + u_{fin,z}^2} = \sqrt{4,75^2 + 5,79^2} = 7,49 \text{ mm}$$

$$u_{fin} \leq \frac{L}{350} = \frac{2670}{350} = 7,63 \text{ mm}$$

$$7,49 \text{ mm} < 7,63 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



5.3 DOLNÍ PÁSY VAZNIC

staticky budou působit jako nosníky osazené do třmenů vsazených mezi dolní pásy žeber

5.3.1 GEOMETRIE

| | | vaznice 3 | vaznice 5 |
|-----------------------|-------|--|--|
| šířka | b | 100 mm | 80 mm |
| výška | h | 100 mm | 80 mm |
| plocha průřezu | A | 10 000 mm ² | 6 400 mm ² |
| momenty setrvačnosti | I_y | 8,33 · 10 ⁶ mm ⁴ | 3,41 · 10 ⁶ mm ⁴ |
| | I_z | 8,33 · 10 ⁶ mm ⁴ | 3,41 · 10 ⁶ mm ⁴ |
| průřezové moduly | W_y | 1,67 · 10 ⁵ mm ³ | 8,53 · 10 ⁴ mm ³ |
| | W_z | 1,67 · 10 ⁵ mm ³ | 8,53 · 10 ⁴ mm ³ |
| poloměry setrvačnosti | i_y | 28,9 mm | 23,1 mm |
| | i_z | 28,9 mm | 23,1 mm |
| rozpětí | L | 2 980 mm | 1 910 mm |
| osová vzdálenost | B | 1 850 mm | 1 850 mm |

5.3.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|---------------------------------------|--|
| rostlé dřevo | C18 |
| třída provozu | 2 |
| třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| hodnota k_{mod} | 0,90 |
| souč. vlastnosti materiálu γ_M | 1,30 |
| návrhová hodnota pevnosti | $f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$ |
| charakteristická pevnost v ohybu | $f_{m,k} = 18,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v ohybu | $f_{m,d} = 12,5 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tahu | $f_{t,0,k} = 11,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tahu | $f_{t,0,d} = 7,6 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tlaku | $f_{c,0,k} = 18,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tlaku | $f_{c,0,d} = 12,5 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 3,40 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 2,35 \text{ MPa}$ |
| moduly pružnosti | $E_{0,mean} = 9\,000 \text{ MPa}$ $E_{0,05} = 6\,000 \text{ MPa}$ |
| hustota | $\rho = 320 \text{ kg/m}^3$ |

5.3.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

5.3.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM

>>

příloha F.2.2

$$V_d = \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2}$$

| | návrhové vnitřní síly – maximální tlak | | | | | |
|---|--|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| 3 | - 25,976 | 0,061 | 0,047 | 0,077 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | - 22,431 | 0,016 | 0,027 | 0,031 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové vnitřní síly – maximální tah | | | | | |
|---|---------------------------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| 3 | 33,449 | 0,061 | 0,047 | 0,077 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | 27,712 | 0,016 | 0,027 | 0,031 | 0,000 | 0,000 |

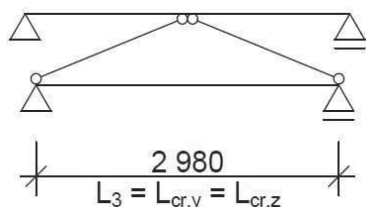
| | návrhové vnitřní síly – maximální posouvající síla | | | | | |
|---|--|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| 3 | - 0,180 | 0,061 | 0,047 | 0,077 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | - 2,034 | 0,016 | 0,027 | 0,031 | 0,000 | 0,000 |

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \quad \tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}$$

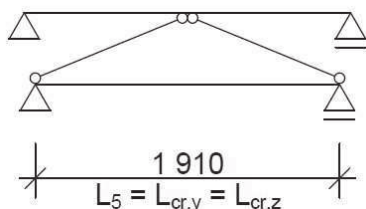
| | návrhové napětí – maximální tlak | | | |
|---|----------------------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| | σ _{c,0,d} | τ _d | σ _{m,y,d} | σ _{m,z,d} |
| 3 | - 2,598 | 0,012 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | - 3,505 | 0,007 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové napětí – maximální tah | | | |
|---|---------------------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| | σ _{t,0,d} | τ _d | σ _{m,y,d} | σ _{m,z,d} |
| 3 | 3,345 | 0,012 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | 4,330 | 0,007 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové napětí – maximální posouvající síla | | | |
|---|--|----------------|--------------------|--------------------|
| | σ _{c,0,d} | τ _d | σ _{m,y,d} | σ _{m,z,d} |
| 3 | - 0,018 | 0,012 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | - 0,318 | 0,007 | 0,000 | 0,000 |



$\beta_c = 0,2$ (pro rostlé dřevo)



$\beta_c = 0,2$ (pro rostlé dřevo)

5.3.5 POSOUZENÍ – MSÚ

5.3.5.1 TAH ROVNOBĚŽNĚ S VLÁKNY

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1 \quad (1)$$

5.3.5.2 VZPĚR – VAZNICE 3

$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

$$L_{cr,yz} = L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_3 \cdot \beta = 2\,980 \cdot 1,0 = 2\,980 \text{ mm}$$

$$\lambda_{yz} = \frac{L_{cr,yz}}{i_{yz}} = \frac{2\,980}{28,9} = 103$$

$$\lambda_{rel,yz} = \frac{\lambda_{yz}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{103}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{18}{6\,000}} = 1,80$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,yz} - 0,3) + \lambda_{rel,yz}^2)$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,80 - 0,3) + 1,80^2) = 2,27$$

$$k_{c,yz} = \frac{1}{k_{yz} + \sqrt{k_{yz}^2 - \lambda_{rel,yz}^2}} = \frac{1}{2,27 + \sqrt{2,27^2 - 1,80^2}}$$

$$k_{c,yz} = 0,274$$

5.3.5.3 VZPĚR – VAZNICE 5

$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

$$L_{cr,yz} = L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_5 \cdot \beta = 1\,910 \cdot 1,0 = 1\,910 \text{ mm}$$

$$\lambda_{yz} = \frac{L_{cr,yz}}{i_{yz}} = \frac{1\,910}{23,1} = 82,7$$

$$\lambda_{rel,yz} = \frac{\lambda_{yz}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{82,7}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{18}{6\,000}} = 1,44$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,yz} - 0,3) + \lambda_{rel,yz}^2)$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,44 - 0,3) + 1,44^2) = 1,65$$

$$k_{c,yz} = \frac{1}{k_{yz} + \sqrt{k_{yz}^2 - \lambda_{rel,yz}^2}} = \frac{1}{1,65 + \sqrt{1,65^2 - 1,44^2}}$$

$$k_{c,yz} = 0,407$$

POSOUZENÍ

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (2)$$

5.3.5.4 SMYK

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (3)$$

| | podmínky | | |
|---|----------|-------|-------|
| | (1) | (2) | (3) |
| 3 | 0,440 | 0,759 | 0,005 |
| 5 | 0,570 | 0,689 | 0,003 |

VYHOVÍ

5.3.5.5 KLOPENÍ

$$\sigma_{m,crit,3} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 100^2}{100 \cdot 2\,980} \cdot 6\,000 = 157 \text{ MPa}$$

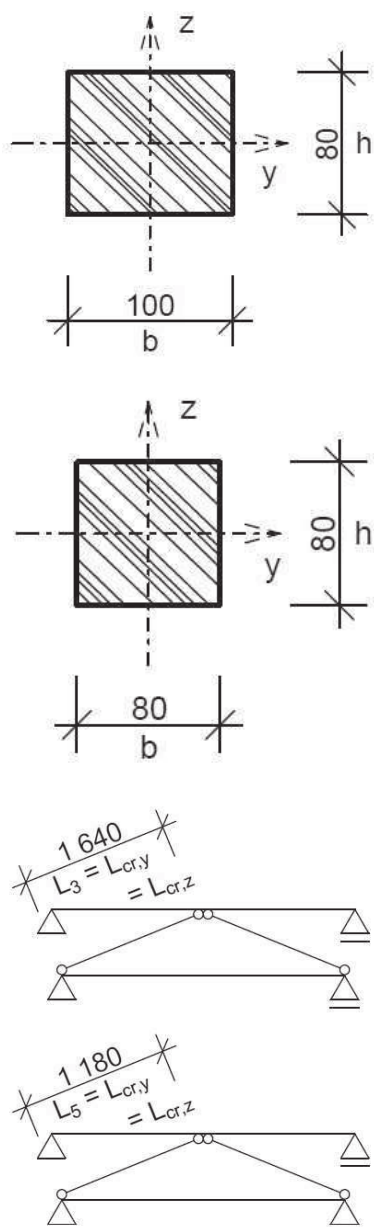
$$\sigma_{m,crit,5} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 80^2}{80 \cdot 1\,910} \cdot 6\,000 = 196 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,3}}} = \sqrt{\frac{18}{157}} = 0,339 < 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

KLOPENÍ NENASTANE

5.3.6 POSOUZENÍ – MSP

pozn. posouzeno v rámci celé vaznice >> viz 5.2.6



5.4 DIAGONÁLY VAZNIC

staticky budou působit jako nosníky osazené do třmenů mezi horními a dolními pásy vaznic

5.4.1 GEOMETRIE

| | | vaznice 3 | vaznice 5 |
|-----------------------|-------|--|--|
| šířka | b | 100 mm | 80 mm |
| výška | h | 80 mm | 80 mm |
| plocha průřezu | A | 8 000 mm ² | 6 400 mm ² |
| momenty setrvačnosti | I_y | 4,27 · 10 ⁶ mm ⁴ | 3,41 · 10 ⁶ mm ⁴ |
| | I_z | 6,67 · 10 ⁶ mm ⁴ | 3,41 · 10 ⁶ mm ⁴ |
| průřezové moduly | W_y | 1,07 · 10 ⁵ mm ³ | 8,53 · 10 ⁴ mm ³ |
| | W_z | 1,33 · 10 ⁵ mm ³ | 8,53 · 10 ⁴ mm ³ |
| poloměry setrvačnosti | i_y | 23,1 mm | 23,1 mm |
| | i_z | 28,9 mm | 23,1 mm |
| rozpětí | L | 1 640 mm | 1 180 mm |

5.4.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|---------------------------------------|--|
| rostlé dřevo | C18 |
| třída provozu | 2 |
| třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| hodnota k_{mod} | 0,90 |
| souč. vlastnosti materiálu γ_M | 1,30 |
| návrhová hodnota pevnosti | $f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$ |
| charakteristická pevnost v ohybu | $f_{m,k} = 18,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v ohybu | $f_{m,d} = 12,5 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tahu | $f_{t,0,k} = 11,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tahu | $f_{t,0,d} = 7,6 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tlaku | $f_{c,0,k} = 18,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tlaku | $f_{c,0,d} = 12,5 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 3,40 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 2,35 \text{ MPa}$ |
| moduly pružnosti | $E_{0,mean} = 9\,000 \text{ MPa}$ $E_{0,05} = 6\,000 \text{ MPa}$ |
| hustota | $\rho = 320 \text{ kg/m}^3$ |

5.4.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

5.4.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM

>>

příloha F.2.3

$$V_d = \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2}$$

| | návrhové vnitřní síly – maximální tlak | | | | | |
|---|--|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| 3 | - 16,870 | 0,026 | - 0,020 | 0,033 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | - 12,814 | 0,008 | - 0,014 | 0,016 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové vnitřní síly – maximální tah | | | | | |
|---|---------------------------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| 3 | 9,251 | - 0,026 | 0,020 | 0,033 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | 10,933 | 0,008 | - 0,014 | 0,016 | 0,000 | 0,000 |

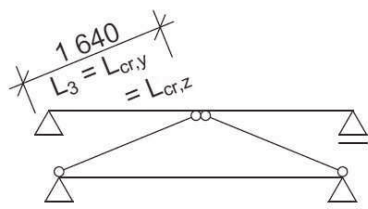
| | návrhové vnitřní síly – maximální posouvající síla | | | | | |
|---|--|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| 3 | - 3,752 | 0,026 | - 0,020 | 0,033 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | - 2,359 | 0,008 | - 0,014 | 0,016 | 0,000 | 0,000 |

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \quad \tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}$$

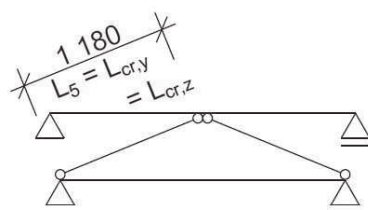
| | návrhové napětí – maximální tlak | | | |
|---|----------------------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| | σ _{c,0,d} | τ _d | σ _{m,y,d} | σ _{m,z,d} |
| 3 | - 2,109 | 0,006 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | - 2,002 | 0,004 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové napětí – maximální tah | | | |
|---|---------------------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| | σ _{t,0,d} | τ _d | σ _{m,y,d} | σ _{m,z,d} |
| 3 | 1,156 | 0,006 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | 1,708 | 0,004 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové napětí – maximální posouvající síla | | | |
|---|--|----------------|--------------------|--------------------|
| | σ _{c,0,d} | τ _d | σ _{m,y,d} | σ _{m,z,d} |
| 3 | - 0,469 | 0,006 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | - 0,369 | 0,004 | 0,000 | 0,000 |



$\beta_c = 0,2$ (pro rostlé dřevo)



$\beta_c = 0,2$ (pro rostlé dřevo)

5.4.5 POSOUZENÍ – MSÚ

5.4.5.1 TAH ROVNOBĚŽNĚ S VLÁKNY

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1 \quad (1)$$

5.4.5.2 VZPĚR – VAZNICE 3

$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_3 \cdot \beta = 1\,640 \cdot 1,0 = 1\,640 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1\,640}{23,1} = 71,0$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{1\,640}{28,9} = 56,7 < \lambda_y = 71,2$$

>> rozhodující je vzpěr kolmý na osu y

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{71,0}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{18}{6\,000}} = 1,24$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,24 - 0,3) + 1,24^2) = 1,36$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,36 + \sqrt{1,36^2 - 1,24^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,521$$

5.4.5.3 VZPĚR – VAZNICE 5

$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

$$L_{cr,yz} = L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_5 \cdot \beta = 1\,180 \cdot 1,0 = 1\,180 \text{ mm}$$

$$\lambda_{yz} = \frac{L_{cr,yz}}{i_{yz}} = \frac{1\,180}{23,1} = 51,1$$

$$\lambda_{rel,yz} = \frac{\lambda_{yz}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{51,1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{18}{6\,000}} = 0,89$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,yz} - 0,3) + \lambda_{rel,yz}^2)$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (0,89 - 0,3) + 0,89^2) = 0,96$$

$$k_{c,yz} = \frac{1}{k_{yz} + \sqrt{k_{yz}^2 - \lambda_{rel,yz}^2}} = \frac{1}{0,96 + \sqrt{0,96^2 - 0,89^2}}$$

$$k_{c,yz} = 0,758$$

POSOUZENÍ

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (2)$$

5.4.5.4 SMYK

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (3)$$

| | podmínky | | |
|---|----------|-------|-------|
| | (1) | (2) | (3) |
| 3 | 0,152 | 0,324 | 0,003 |
| 5 | 0,225 | 0,211 | 0,002 |

VYHOVÍ

5.4.5.5 KLOPENÍ

$$\sigma_{m,crit,3} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 100^2}{80 \cdot 1\,640} \cdot 6\,000 = 357 \text{ MPa}$$

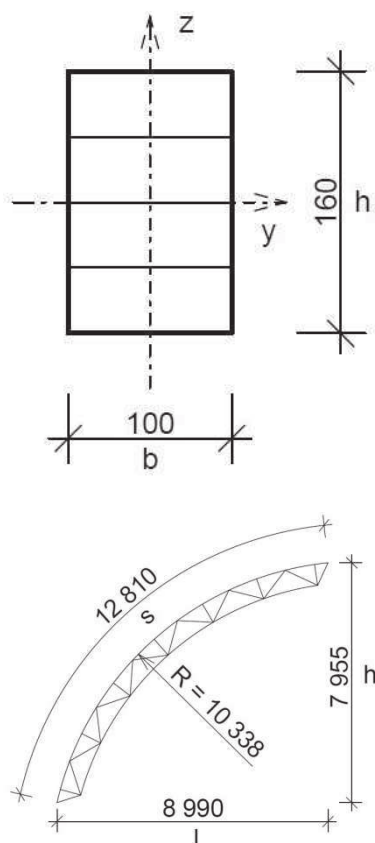
$$\sigma_{m,crit,5} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 80^2}{80 \cdot 1\,180} \cdot 6\,000 = 317 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,5}}} = \sqrt{\frac{18}{317}} = 0,238 < 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

KLOPENÍ NENASTANE

5.4.6 POSOUZENÍ – MSP

pozn. posouzeno v rámci celé vaznice >> viz 5.2.6



5.5 HORNÍ PÁSY ŽEBER

5.5.1 GEOMETRIE

| | |
|-----------------------------|--|
| šířka | $b = 100 \text{ mm}$ |
| výška | $h = 160 \text{ mm}$ |
| plocha průřezu | $A = b \cdot h = 16\,000 \text{ mm}^2$ |
| moment setrvačnosti | $I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = 3,41 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$ $I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = 1,33 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$ |
| průřezový modul | $W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = 4,27 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ $W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = 2,67 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ |
| poloměry setrvačnosti | $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 46,2 \text{ mm}$ $i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 28,9 \text{ mm}$ |
| rozpětí | $l = 8\,990 \text{ mm}$ |
| vzepětí | $h = 7\,955 \text{ mm}$ |
| délka střednice | $s = 12\,810 \text{ mm}$ |
| poloměr zakřivení střednice | $R = 10\,338 \text{ mm}$ |

5.5.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|---|--|
| rostlé dřevo | <i>GL24h</i> |
| třída provozu | 2 |
| třída trvání zatížení | <i>krátkodobé zatížení</i> |
| hodnota k_{mod} | 0,90 |
| souč. vlastnosti materiálu γ_M | 1,25 |
| návrhová hodnota pevnosti | $f_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$ |
| charakteristická pevnost v ohybu | $f_{m,k} = 24,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v ohybu | $f_{m,d} = 17,3 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tahu | $f_{t,0,k} = 16,5 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tahu | $f_{t,0,d} = 11,9 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tahu \perp | $f_{t,90,k} = 0,400 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tahu \perp | $f_{t,90,d} = 0,288 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tlaku | $f_{c,0,k} = 24,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tlaku | $f_{c,0,d} = 17,3 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 2,70 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 1,94 \text{ MPa}$ |
| moduly pružnosti | $E_{0,\text{mean}} = 11\,600 \text{ MPa}$ $E_{0,05} = 9\,400 \text{ MPa}$ |

hustota

$$\rho = 380 \text{ kg/m}^3$$

5.5.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

5.5.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM

>>

příloha F.2.4, F.2.7

| | N_d | $V_{y,d}$ | $V_{z,d}$ | $M_{y,d}$ | $M_{z,d}$ |
|-----------------------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| maximální tlak (A16) | - 82,568 | - 0,026 | - 3,283 | 0,491 | - 0,008 |
| maximální tah (A12) | 33,581 | - 0,033 | - 1,634 | - 0,337 | 0,117 |
| maximální posouvající síla (A05) | - 75,861 | 0,033 | 4,652 | 1,285 | 0,013 |
| maximální moment ve vrcholu (A16) | - 64,004 | 0,032 | - 3,717 | 1,141 | 0,018 |
| maximální moment M_y (A16) | - 69,921 | - 0,026 | - 4,161 | 1,308 | - 0,034 |
| maximální moment M_z (A01) | - 46,687 | 0,256 | - 2,890 | 0,518 | 0,363 |

5.5.5 POSOUZENÍ – MSÚ

5.5.5.1 PODÉLNÉ NORMÁLOVÉ NAPĚTÍ – VE VRCHOLU

$$h_{ap} = h = 160 \text{ mm}$$

$$\alpha_{ap} = 0^\circ$$

$$r_{in} = 10\,338 \text{ mm}$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 1 + 1,4 \cdot \operatorname{tg} 0 + 5,4 \cdot \operatorname{tg}^2 0$$

$$k_1 = 1,0$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} = 0,35 - 8 \cdot \operatorname{tg} 0 = 0,35$$

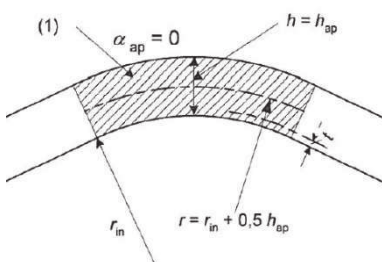
$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 7,8 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 0,6 + 8,3 \cdot \operatorname{tg} 0 - 7,8 \cdot \operatorname{tg}^2 0$$

$$k_3 = 0,6$$

$$k_4 = 6 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 6 \cdot \operatorname{tg}^2 0 = 0$$

$$k_l = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3$$

$$k_l = 1,0 + 0,35 \cdot \left(\frac{160}{10\,338}\right) + 0,6 \cdot \left(\frac{160}{10\,338}\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{160}{10\,338}\right)^3$$



$$k_l = 1,006$$

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 1,006 \cdot \frac{6 \cdot 1,141 \cdot 10^6}{100 \cdot 160^2} = 2,69 \text{ MPa}$$

$$\frac{r_{in}}{t} = \frac{10\,338}{40} = 258 > 240 \gg k_r = 1,0$$

POSOUZENÍ

$$\sigma_{m,d} \leq k_r \cdot f_{m,d} = 1,0 \cdot 17,3 = 17,3 \text{ MPa}$$

$$2,69 < 17,3$$

VYHOVÍ

5.5.5.2 PŘÍČNÉ NORMÁLOVÉ NAPĚTÍ – VE VRCHOLU

$$k_5 = 0,2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} = 0,2 \cdot \operatorname{tg} 0 = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 2,6 \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap}$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \operatorname{tg} 0 + 2,6 \operatorname{tg}^2 0 = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 4 \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 2,1 \cdot \operatorname{tg} 0 - 4 \operatorname{tg}^2 0 = 0$$

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2$$

$$k_p = 0 + 0,25 \cdot \left(\frac{160}{10\,338}\right) + 0 \cdot \left(\frac{160}{10\,338}\right)^2$$

$$k_p = 0,0039$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 0,0039 \cdot \frac{6 \cdot 1,141 \cdot 10^6}{100 \cdot 160^2} = 0,010 \text{ MPa}$$

$$V_0 = 0,01 \text{ m}^3 \quad \text{referenční objem}$$

$$V = \frac{\beta \cdot \pi}{180} \cdot b \cdot (h_{ap}^2 + 2 \cdot r_{in} \cdot h_{ap})$$

$$V = \frac{77 \cdot \pi}{180} \cdot 0,10 \cdot (0,16^2 + 2 \cdot 10,338 \cdot 0,16) = 0,448 \text{ m}^3$$

$$V \leq \frac{2}{3} \cdot V_b = \frac{2}{3} \cdot (A \cdot s) = \frac{2}{3} \cdot (0,016 \cdot 12,810) = 0,137 \text{ m}^3$$

$$0,448 \not\leq 0,137 \text{ m}^3 \gg V = 0,137 \text{ m}^3$$

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{0,137}\right)^{0,2} = 0,592$$

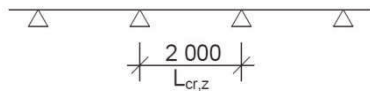
$$k_{dis} = 1,4$$

POSOUZENÍ

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 1,4 \cdot 0,592 \cdot 0,288 = 0,239 \text{ MPa}$$

$$0,010 < 0,239$$

VYHOVÍ



$$\beta_c = 0,1 \text{ (pro LLD)}$$

5.5.5.3 OHYB A OSOVÝ TAH

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{33,581 \cdot 10^3}{16\,000} = 2,10 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{0,337 \cdot 10^6}{4,27 \cdot 10^5} = 0,789 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,117 \cdot 10^6}{2,67 \cdot 10^5} = 0,438 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{2,10}{11,9} + \frac{0,789}{17,3} + 0,7 \cdot \frac{0,438}{17,3} \leq 1$$

$$0,240 < 1$$

VYHOVÍ

5.5.5.4 VZPĚR – Z ROVINY ŽEBRA

$$L_{cr,z} = 2\,000 \text{ mm} \gg \text{vybočení je bráněno vaznicemi}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2\,000}{28,9} = 69,2$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{69,2}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9\,400}} = 1,11$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,11 - 0,3) + 1,11^2) = 1,16$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,16 + \sqrt{1,16^2 - 1,11^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,668$$

POSOUZENÍ

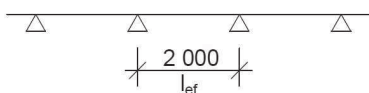
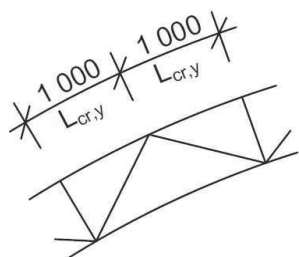
maximální moment M_y

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{69,921 \cdot 10^3}{16\,000} = 4,37 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{1,308 \cdot 10^6}{4,27 \cdot 10^5} = 3,06 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,034 \cdot 10^6}{2,67 \cdot 10^5} = 0,127 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$



$$\frac{4,37}{0,668 \cdot 17,3} + 0,7 \cdot \frac{3,06}{17,3} + \frac{0,127}{17,3} \leq 1$$

$$0,509 < 1$$

VYHOVÍ

maximální tlak

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{82,568 \cdot 10^3}{16\,000} = 5,16 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{0,491 \cdot 10^6}{4,27 \cdot 10^5} = 1,15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,008 \cdot 10^6}{2,67 \cdot 10^5} = 0,030 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{5,16}{0,668 \cdot 17,3} + 0,7 \cdot \frac{1,15}{17,3} + \frac{0,030}{17,3} \leq 1$$

$$0,495 < 1$$

VYHOVÍ

5.5.5.5 VZPĚR – V ROVINĚ ŽEBRA

$L_{cr,y} = 1\,000 \text{ mm} \gg$ vybočení je bráněno svislicemi a diagonálami

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1\,000}{46,2} = 21,6 < \lambda_z = 69,2$$

\gg rozhodující je vzpěr z roviny žebra

5.5.5.6 KLOPENÍ

$l_{ef} = 2\,000 \text{ mm} \gg$ klopení je bráněno vaznicemi

$$t = b = 100 \text{ mm}$$

$$a = h = 160 \text{ mm}$$

$$I_{tor} = \left(1 - 0,63 \cdot \frac{t}{a}\right) \cdot \frac{t^3 \cdot a}{3} = \left(1 - 0,63 \cdot \frac{100}{160}\right) \cdot \frac{100^3 \cdot 160}{3}$$

$$I_{tor} = 3,23 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

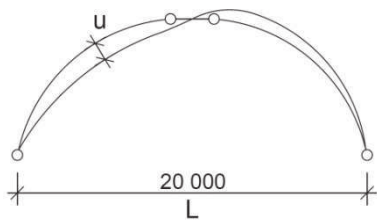
$$G_{0,05} = 583 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{9\,400 \cdot 1,33 \cdot 10^7 \cdot 583 \cdot 3,23 \cdot 10^7}}{2\,000 \cdot 4,27 \cdot 10^5} = 178 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{178}} = 0,367 < 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

KLOPENÍ NENASTANE

**5.5.5.7 SMYK**

$$V_d = \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2} = \sqrt{0,033^2 + 4,652^2} = 4,652 \text{ kN}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{4,652 \cdot 10^3}{16\,000} = 0,436 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$0,436 < 1,94$$

VYHOVÍ

5.5.6 POSOUZENÍ – MSP

žebro 1

hodnoty převzaty z programu RFEM >> příloha F.2.9

5.5.6.1 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{inst,G} = 0,90 \text{ mm}$$

5.5.6.2 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{w,z} = 11,7 \text{ mm} \quad \text{ZS5 – vítr západní}$$

$$u_{s,na} = 4,4 \text{ mm} \quad \text{ZS4 – sníh navátý}$$

$$u_{inst,Q,1} = u_{w,z} = 11,7 \text{ mm}$$

$$u_{inst,Q,i} = u_{s,n} = 4,4 \text{ mm}$$

$$u_{inst} = u_{inst,G} + u_{inst,Q,1} + \psi_{0,i} \cdot u_{inst,Q,i}$$

$$u_{inst,z} = 0,90 + 11,7 + 0,5 \cdot 4,4 = 14,8 \text{ mm}$$

$$u_{inst} \leq \frac{L}{500} = \frac{20\,000}{500} = 40,0 \text{ mm}$$

$$14,8 \text{ mm} < 40,0 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

5.5.6.3 KONEČNÝ PRŮHYB

$$k_{def} = 0,8$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 0,90 \cdot (1 + 0,8) = 1,62 \text{ mm}$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 11,7 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 11,7 \text{ mm}$$

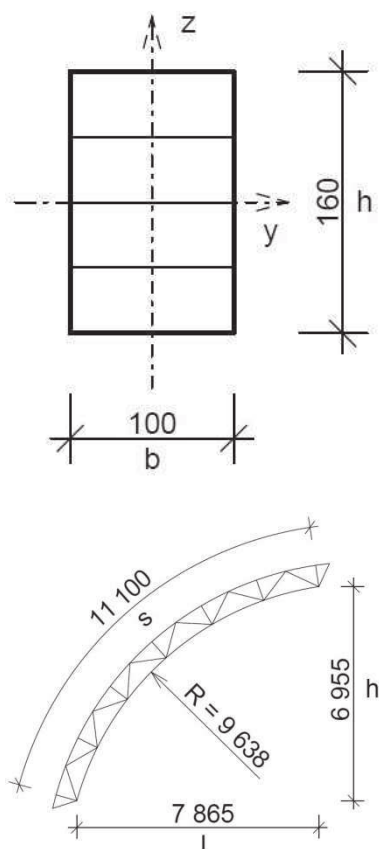
$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def}) = 4,4 \cdot (0,5 + 0 \cdot 0,8) = 2,2 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q,1} + u_{fin,Q,i} = 1,62 + 11,7 + 2,2 = 15,5 \text{ mm}$$

$$u_{fin} \leq \frac{L}{350} = \frac{20\,000}{350} = 57,1 \text{ mm}$$

$$15,5 \text{ mm} < 57,1 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



5.6 DOLNÍ PÁSY ŽEBER

5.6.1 GEOMETRIE

| | |
|-----------------------------|--|
| šířka | $b = 100 \text{ mm}$ |
| výška | $h = 160 \text{ mm}$ |
| plocha průřezu | $A = b \cdot h = 16\,000 \text{ mm}^2$ |
| moment setrvačnosti | $I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = 3,41 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$ $I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = 1,33 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$ |
| průřezový modul | $W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = 4,27 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ $W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = 2,67 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ |
| poloměry setrvačnosti | $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 46,2 \text{ mm}$ $i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 28,9 \text{ mm}$ |
| rozpětí | $l = 7\,865 \text{ mm}$ |
| vzepětí | $h = 6\,955 \text{ mm}$ |
| délka střednice | $s = 11\,100 \text{ mm}$ |
| poloměr zakřivení střednice | $R = 9\,638 \text{ mm}$ |

5.6.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|---|--|
| rostlé dřevo | <i>GL24h</i> |
| třída provozu | 2 |
| třída trvání zatížení | <i>krátkodobé zatížení</i> |
| hodnota k_{mod} | 0,90 |
| souč. vlastnosti materiálu γ_M | 1,25 |
| návrhová hodnota pevnosti | $f_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$ |
| charakteristická pevnost v ohybu | $f_{m,k} = 24,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v ohybu | $f_{m,d} = 17,3 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tahu | $f_{t,0,k} = 16,5 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tahu | $f_{t,0,d} = 11,9 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tahu \perp | $f_{t,90,k} = 0,400 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tahu \perp | $f_{t,90,d} = 0,288 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tlaku | $f_{c,0,k} = 24,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tlaku | $f_{c,0,d} = 17,3 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 2,70 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 1,94 \text{ MPa}$ |
| moduly pružnosti | $E_{0,\text{mean}} = 11\,600 \text{ MPa}$ $E_{0,05} = 9\,400 \text{ MPa}$ |

hustota

$$\rho = 380 \text{ kg/m}^3$$

5.6.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

5.6.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM

>>

příloha F.2.5, F.2.8

| | N_d | $V_{y,d}$ | $V_{z,d}$ | $M_{y,d}$ | $M_{z,d}$ |
|-----------------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| maximální tlak (A05) | - 52,309 | - 0,004 | - 0,076 | - 1,220 | 0,010 |
| maximální tah (A01) | 41,999 | - 0,004 | - 0,124 | 1,204 | 0,011 |
| maximální posouvající síla (A05) | - 52,187 | - 0,004 | - 5,059 | 1,154 | 0,007 |
| maximální moment ve vrcholu (A01) | 41,396 | 0,007 | 0,021 | 1,142 | 0,007 |
| maximální moment M_y (A05) | - 52,309 | - 0,004 | - 0,076 | - 1,220 | 0,010 |
| maximální moment M_z (A15) | - 16,918 | - 0,011 | 1,564 | 0,332 | 0,041 |

5.6.5 POSOUZENÍ – MSÚ

5.6.5.1 PODÉLNÉ NORMÁLOVÉ NAPĚTÍ – VE VRCHOLU

$$h_{ap} = h = 160 \text{ mm} \quad \alpha_{ap} = 0^\circ \quad r_{in} = 9\,638 \text{ mm}$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 1 + 1,4 \cdot \operatorname{tg} 0 + 5,4 \cdot \operatorname{tg}^2 0$$

$$k_1 = 1,0$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} = 0,35 - 8 \cdot \operatorname{tg} 0 = 0,35$$

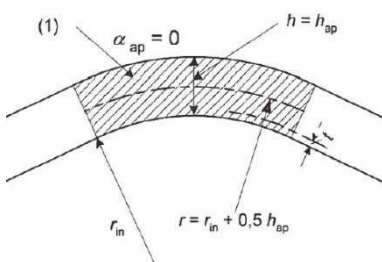
$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 7,8 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 0,6 + 8,3 \cdot \operatorname{tg} 0 - 7,8 \cdot \operatorname{tg}^2 0$$

$$k_3 = 0,6$$

$$k_4 = 6 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 6 \cdot \operatorname{tg}^2 0 = 0$$

$$k_l = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3$$

$$k_l = 1,0 + 0,35 \cdot \left(\frac{160}{9\,638}\right) + 0,6 \cdot \left(\frac{160}{9\,638}\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{160}{9\,638}\right)^3$$



$$k_l = 1,006$$

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 1,006 \cdot \frac{6 \cdot 1,142 \cdot 10^6}{100 \cdot 160^2} = 2,69 \text{ MPa}$$

$$\frac{r_{in}}{t} = \frac{9\,638}{40} = 241 > 240 \gg k_r = 1,0$$

POSOUZENÍ

$$\sigma_{m,d} \leq k_r \cdot f_{m,d} = 1,0 \cdot 17,3 = 17,3 \text{ MPa}$$

$$2,69 < 17,3$$

VYHOVÍ

5.6.5.2 PŘÍČNÉ NORMÁLOVÉ NAPĚTÍ – VE VRCHOLU

$$k_5 = 0,2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} = 0,2 \cdot \operatorname{tg} 0 = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 2,6 \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap}$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \operatorname{tg} 0 + 2,6 \operatorname{tg}^2 0 = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 4 \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 2,1 \cdot \operatorname{tg} 0 - 4 \operatorname{tg}^2 0 = 0$$

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2$$

$$k_p = 0 + 0,25 \cdot \left(\frac{160}{9\,638}\right) + 0 \cdot \left(\frac{160}{9\,638}\right)^2$$

$$k_p = 0,0042$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 0,0042 \cdot \frac{6 \cdot 1,142 \cdot 10^6}{100 \cdot 160^2} = 0,011 \text{ MPa}$$

$$V_0 = 0,01 \text{ m}^3 \quad \text{referenční objem}$$

$$V = \frac{\beta \cdot \pi}{180} \cdot b \cdot (h_{ap}^2 + 2 \cdot r_{in} \cdot h_{ap})$$

$$V = \frac{77 \cdot \pi}{180} \cdot 0,10 \cdot (0,16^2 + 2 \cdot 9,638 \cdot 0,16) = 0,418 \text{ m}^3$$

$$V \leq \frac{2}{3} \cdot V_b = \frac{2}{3} \cdot (A \cdot s) = \frac{2}{3} \cdot (0,016 \cdot 11,1) = 0,118 \text{ m}^3$$

$$0,418 \not\leq 0,118 \text{ m}^3 \gg V = 0,118 \text{ m}^3$$

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{0,118}\right)^{0,2} = 0,610$$

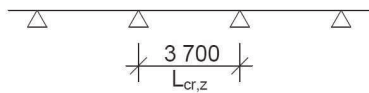
$$k_{dis} = 1,4$$

POSOUZENÍ

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 1,4 \cdot 0,610 \cdot 0,288 = 0,250 \text{ MPa}$$

$$0,011 < 0,250$$

VYHOVÍ



$$\beta_c = 0,1 \text{ (pro LLD)}$$

5.6.5.3 OHYB A OSOVÝ TAH

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{41,999 \cdot 10^3}{16\,000} = 2,62 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{1,204 \cdot 10^6}{4,27 \cdot 10^5} = 2,82 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,011 \cdot 10^6}{2,67 \cdot 10^5} = 0,041 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{2,62}{11,9} + \frac{2,82}{17,3} + 0,7 \cdot \frac{0,041}{17,3} \leq 1$$

$$0,385 < 1$$

VYHOVÍ

5.6.5.4 VZPĚR – Z ROVINY ŽEBRA

$$L_{cr,z} = 3\,700 \text{ mm} \gg \text{vybočení je bráněno vaznicemi}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3\,700}{28,9} = 128$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{128}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9\,400}} = 2,06$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (2,06 - 0,3) + 2,06^2) = 2,71$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{2,71 + \sqrt{2,71^2 - 2,06^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,224$$

POSOUZENÍ

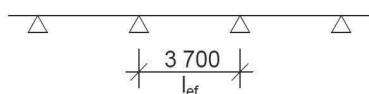
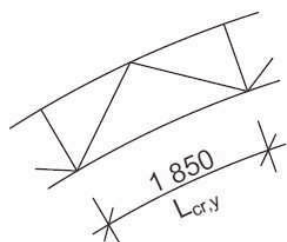
maximální moment M_y + maximální tlak

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{52,309 \cdot 10^3}{16\,000} = 3,27 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{1,220 \cdot 10^6}{4,27 \cdot 10^5} = 2,86 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,010 \cdot 10^6}{2,67 \cdot 10^5} = 0,037 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$



$$\frac{3,27}{0,224 \cdot 17,3} + 0,7 \cdot \frac{2,86}{17,3} + \frac{0,037}{17,3} \leq 1$$

$$0,962 < 1$$

VYHOVÍ

5.6.5.5 VZPĚR – V ROVINĚ ŽEBRA

$L_{cr,y} = 1850 \text{ mm}$ >> vybočení je bráněno svislícemi a diagonálami

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1850}{46,2} = 40,0 < \lambda_z = 64,0$$

>> rozhodující je vzpěr z roviny žebra

5.6.5.6 KLOPENÍ

$l_{ef} = 3700 \text{ mm}$ >> klopení je bráněno vaznicemi

$$t = b = 100 \text{ mm}$$

$$a = h = 160 \text{ mm}$$

$$I_{tor} = \left(1 - 0,63 \cdot \frac{t}{a}\right) \cdot \frac{t^3 \cdot a}{3} = \left(1 - 0,63 \cdot \frac{100}{160}\right) \cdot \frac{100^3 \cdot 160}{3}$$

$$I_{tor} = 3,23 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$G_{0,05} = 583 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{9400 \cdot 1,33 \cdot 10^7 \cdot 583 \cdot 3,23 \cdot 10^7}}{3700 \cdot 4,27 \cdot 10^5} = 96,5 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{96,5}} = 0,499 < 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

KLOPENÍ NENASTANE

5.6.5.7 SMYK

$$V_d = \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2} = \sqrt{(-0,004)^2 + (-5,059)^2} = 5,059 \text{ KN}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{5,059 \cdot 10^3}{16000} = 0,474 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

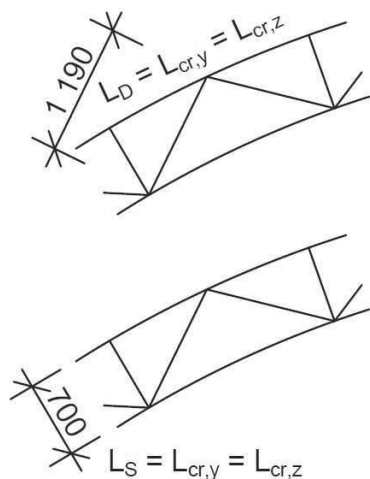
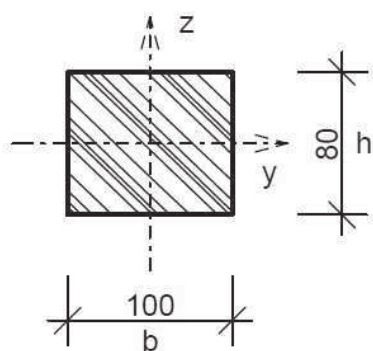
$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$0,474 < 1,94$$

VYHOVÍ

5.6.6 POSOUZENÍ – MSP

pozn. posouzeno v rámci celého žebra >> viz 5.5.6



5.7 DIAGONÁLY A SVISLICE ŽEBER

staticky budou působit jako nosníky osazené pomocí styčnickových plechů mezi horní a dolní pásy žebér

5.7.1 GEOMETRIE

| | | diagonála | svislice |
|-----------------------|-------|--|----------|
| šířka | b | 100 mm | |
| výška | h | 80 mm | |
| plocha průřezu | A | 8 000 mm ² | |
| momenty setrvačnosti | I_y | 4,27 · 10 ⁶ mm ⁴ | |
| | I_z | 6,67 · 10 ⁶ mm ⁴ | |
| průřezové moduly | W_y | 1,07 · 10 ⁵ mm ³ | |
| | W_z | 1,33 · 10 ⁵ mm ³ | |
| poloměry setrvačnosti | i_y | 23,1 mm | |
| | i_z | 28,9 mm | |
| rozpětí | L | 1 190 mm | 700 mm |

5.7.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|---------------------------------------|---------------------|
| rostlé dřevo | C18 |
| třída provozu | 2 |
| třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| hodnota k_{mod} | 0,90 |
| souč. vlastnosti materiálu γ_M | 1,30 |

| | |
|---------------------------|--|
| návrhová hodnota pevnosti | $f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$ |
|---------------------------|--|

| | |
|----------------------------------|------------------------------|
| charakteristická pevnost v ohybu | $f_{m,k} = 18,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v ohybu | $f_{m,d} = 12,5 \text{ MPa}$ |

| | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| charakteristická pevnost v tahu | $f_{t,0,k} = 11,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tahu | $f_{t,0,d} = 7,6 \text{ MPa}$ |

| | |
|----------------------------------|--------------------------------|
| charakteristická pevnost v tlaku | $f_{c,0,k} = 18,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tlaku | $f_{c,0,d} = 12,5 \text{ MPa}$ |

| | |
|-----------------------------------|------------------------------|
| charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 3,40 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 2,35 \text{ MPa}$ |

| | |
|------------------|-----------------------------------|
| moduly pružnosti | $E_{0,mean} = 9\,000 \text{ MPa}$ |
| | $E_{0,05} = 6\,000 \text{ MPa}$ |

| | |
|---------|-----------------------------|
| hustota | $\rho = 320 \text{ kg/m}^3$ |
|---------|-----------------------------|

5.7.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

5.7.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM >> příloha F.2.6

$$V_d = \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2}$$

| | návrhové vnitřní síly – maximální tlak | | | | | |
|---|--|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| D | - 18,773 | 0,000 | - 0,021 | 0,021 | 0,000 | 0,000 |
| S | - 9,187 | 0,000 | 0,011 | 0,011 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové vnitřní síly – maximální tah | | | | | |
|---|---------------------------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| D | 22,458 | 0,000 | - 0,007 | 0,007 | 0,000 | 0,000 |
| S | 12,758 | 0,000 | - 0,014 | 0,014 | 0,000 | 0,000 |

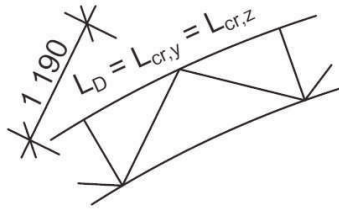
| | návrhové vnitřní síly – maximální posouvající síla | | | | | |
|---|--|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| D | 2,672 | 0,000 | 0,024 | 0,024 | 0,000 | 0,000 |
| S | 12,758 | 0,000 | - 0,014 | 0,014 | 0,000 | 0,000 |

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \quad \tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}$$

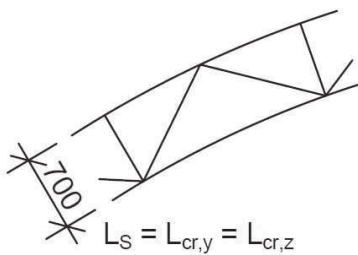
| | návrhové napětí – maximální tlak | | | |
|---|----------------------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| | σ _{c,0,d} | τ _d | σ _{m,y,d} | σ _{m,z,d} |
| D | - 2,347 | 0,004 | 0,000 | 0,000 |
| S | - 1,148 | 0,002 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové napětí – maximální tah | | | |
|---|---------------------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| | σ _{t,0,d} | τ _d | σ _{m,y,d} | σ _{m,z,d} |
| D | 2,807 | 0,001 | 0,000 | 0,000 |
| S | 1,595 | 0,003 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové napětí – maximální posouvající síla | | | |
|---|--|----------------|--------------------|--------------------|
| | σ _{c,0,d} | τ _d | σ _{m,y,d} | σ _{m,z,d} |
| D | 0,334 | 0,005 | 0,000 | 0,000 |
| S | 1,595 | 0,003 | 0,000 | 0,000 |



$\beta_c = 0,2$ (pro rostlé dřevo)



$\beta_c = 0,2$ (pro rostlé dřevo)

5.7.5 POSOUZENÍ – MSÚ

5.7.5.1 TAH ROVNOBĚŽNĚ S VLÁKNY

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1 \quad (1)$$

5.7.5.2 VZPĚR – DIAGONÁLA

$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_D \cdot \beta = 1190 \cdot 1,0 = 1190 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1190}{23,1} = 51,5$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{1190}{28,9} = 41,2 < \lambda_y = 51,5$$

>> rozhodující je vzpěr kolmý na osu y

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{51,5}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{18}{6000}} = 0,898$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (0,898 - 0,3) + 0,898^2) = 0,963$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,963 + \sqrt{0,963^2 - 0,898^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,763$$

5.7.5.3 VZPĚR – SVISLICE

$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_S \cdot \beta = 700 \cdot 1,0 = 700 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{700}{23,1} = 30,3$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{700}{28,9} = 24,2 < \lambda_y = 30,3$$

>> rozhodující je vzpěr kolmý na osu y

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{30,3}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{18}{6000}} = 0,528$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (0,528 - 0,3) + 0,528^2) = 0,662$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,662 + \sqrt{0,662^2 - 0,528^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,942$$

POSOUZENÍ

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (2)$$

5.7.5.4 SMYK

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (3)$$

| | podmínky | | |
|---|----------|-------|-------|
| | (1) | (2) | (3) |
| D | 0,369 | 0,246 | 0,002 |
| S | 0,210 | 0,097 | 0,001 |

VYHOVÍ

5.7.5.5 KLOPENÍ

$$\sigma_{m,crit,D} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 100^2}{80 \cdot 1190} \cdot 6000 = 492 \text{ MPa}$$

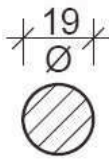
$$\sigma_{m,crit,S} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 100^2}{80 \cdot 700} \cdot 6000 = 836 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,D}}} = \sqrt{\frac{18}{492}} = 0,191 < 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

KLOPENÍ NENASTANE

5.7.6 POSOUZENÍ – MSP

pozn. posouzeno v rámci celého žebra >> viz 5.5.6



5.8 ZTUŽIDLA

jsou tvořena diagonálními ocelovými táhly Macalloy 460 o průměru $\varnothing 19$ mm osazenými v místech vaznic pomocí koncovek FA20 a čepu PA20 systému Macalloy 460 na plechy připevněné na žebra

5.8.1 GEOMETRIE

průměr táhla $d = 19 \text{ mm}$
 délka táhla $L = 4\,238 \text{ mm}$

5.8.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

ocel $S460$
 mez kluzu $f_y = 460 \text{ MPa}$
 mez pevnosti $f_u = 610 \text{ MPa}$

5.8.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

5.8.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM >> příloha F.2.10
 maximální tahová síla $N_{Ed} = 41,068 \text{ KN}$
 (ztužidlo K2 – KV25)

5.8.5 STABILIZUJÍCÍ SÍLY

pozn. táhla jsou připevněna k horním pásům žeber, kde u nejzatíženějších táhel převládají tahové síly
 >> stabilizující síly nevznikají

5.8.6 POSOUZENÍ – MSÚ

5.8.6.1 TAH

minimální mez kluzu táhla $N_{t,Rd} = 108,000 \text{ KN}$ viz 7.2

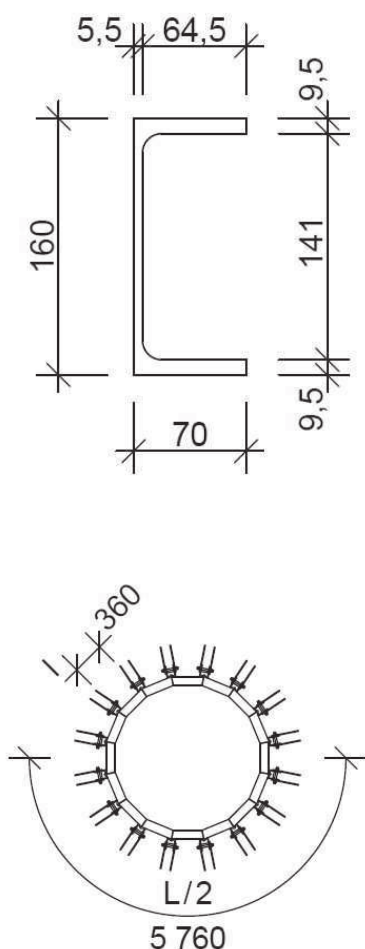
POSOUZENÍ

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{41,068}{108,000} \leq 1,0$$

$$0,380 < 1$$

VYHOVÍ



5.9 PRSTENEC

je tvořen polygonálně lomeným obloukem z válcovaných profilů UPE 160

5.9.1 GEOMETRIE

| | |
|---------------------------|--|
| válcovaný profil | UPE 160 |
| výška | $h = 160 \text{ mm}$ |
| šířka | $b = 70 \text{ mm}$ |
| výška stojiny | $h_w = 141 \text{ mm}$ |
| tloušťka stojiny | $t_w = 5,5 \text{ mm}$ |
| tloušťka pásnice | $t_f = 9,5 \text{ mm}$ |
| poloměr zaoblení | $r = 12 \text{ mm}$ |
| plocha průřezu | $A = 2\,170 \text{ mm}^2$ |
| smyková plocha | $A_{vy} = A - h_w \cdot t_w = 1\,395 \text{ mm}^2$ |
| | $A_{vz} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f$ |
| | $A_{vz} = 1\,006 \text{ mm}^2$ |
| momenty setrvačnosti | $I_y = 9,11 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$ |
| | $I_z = 1,07 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$ |
| průřezové moduly | $W_{pl,y} = 1,32 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ |
| | $W_{pl,z} = 4,15 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$ |
| poloměry setrvačnosti | $i_y = 64,8 \text{ mm}$ |
| | $i_z = 22,2 \text{ mm}$ |
| délka prstence | $L = 5\,760 \text{ mm}$ |
| délka prstence mezi žebry | $l = 360 \text{ mm}$ |

5.9.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|--------------|-------------------------|
| ocel | S235 |
| mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |

5.9.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

5.9.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM

>>

příloha F.2.11

| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | M _{y,d} | M _{z,d} |
|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| maximální tlak | - 22,834 | 0,071 | 0,550 | - 0,044 | 0,020 |
| maximální tah | 4,653 | 0,049 | 0,080 | - 0,043 | - 2,709 |
| maximální posouvající síla Vy | - 1,615 | - 8,349 | 0,517 | - 0,031 | 0,744 |
| maximální posouvající síla Vz | - 11,508 | 5,865 | - 0,870 | - 0,133 | 0,433 |
| maximální moment My | - 3,151 | - 8,090 | 0,467 | 0,182 | 4,064 |
| maximální moment Mz | - 3,020 | 3,186 | - 0,249 | 0,023 | 4,283 |

5.9.5 POSOUZENÍ – MSÚ**5.9.5.1 OHYB A OSOVÁ SÍLA**

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2\,170 \cdot 235}{1,0} = 509,9 \text{ KN}$$

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,32 \cdot 10^5 \cdot 235}{1,0} = 31,02 \text{ KNm}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,15 \cdot 10^4 \cdot 235}{1,0} = 9,75 \text{ KNm}$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot [1 - (N_{Ed} / N_{pl,Rd})^2]$$

$$M_{N,y,Rd} = 31,02 \cdot [1 - (3,151 / 509,9)^2] = 31,02 \text{ KNm}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot [1 - (N_{Ed} / N_{pl,Rd})^2]$$

$$M_{N,z,Rd} = 9,75 \cdot [1 - (3,151 / 509,9)^2] = 9,75 \text{ KNm}$$

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 3,151 / 509,9 = 0,006$$

$$\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot n^2} = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot 0,006^2} = 1,66$$

POSOUZENÍ

maximální moment M_y

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

$$\left[\frac{0,182}{31,02} \right]^{1,66} + \left[\frac{4,064}{9,75} \right]^{1,66} \leq 1$$

$$0,234 < 1$$

VYHOVÍ

maximální moment M_z

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

$$\left[\frac{0,023}{31,02} \right]^{1,66} + \left[\frac{4,283}{9,75} \right]^{1,66} \leq 1$$

$$0,255 < 1$$

VYHOVÍ

5.9.5.2 VZPĚŘ

$\beta = 1,0 \gg$ prosté podepření

$$L_{cr,y} = \frac{L}{2} \cdot \beta = \frac{5\,760}{2} \cdot 1,0 = 2\,880 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = l \cdot \beta = 360 \cdot 1,0 = 360 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210\,000}{235}} = 93,9$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{2\,880}{64,8} \cdot \frac{1}{93,3} = 0,476$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{360}{22,2} \cdot \frac{1}{93,3} = 0,174 < 0,2 \gg \text{vzpěr nenastane}$$

$\alpha = 0,49$ (vzpěrná křivka c)

$$\Phi_y = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2)$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (0,476 - 0,2) + 0,476^2) = 0,681$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,681 + \sqrt{0,681^2 - 0,476^2}}$$

$$\chi_y = 0,856$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 1,0 = 1,0 \geq 0,4$$

$$C_{my} = 1,0$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 1,0 = 1,0 \geq 0,4$$

$$C_{mz} = 1,0$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 1,0 = 1,0 \geq 0,4$$

$$C_{mLT} = 1,0$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 2\,170 \cdot 235 = 509,9 \text{ KN}$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 1,0 \cdot \left(1 + (0,476 - 0,2) \cdot \frac{3,151}{0,856 \cdot 509,9 / 1,0} \right)$$

$$k_{yy} = 1,002$$

$$k_{yy} \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} \leq 1,0 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{3,151}{0,856 \cdot 509,9 / 1,0} \right)$$

$$k_{yy} \leq 1,006$$

VYHOVÍ

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + (\lambda_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,0 \cdot \left(1 + (0,174 - 0,2) \cdot \frac{3,151}{1,0 \cdot 509,9 / 1,0} \right)$$

$$k_{zz} = 1,0$$

$$k_{zz} \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} \leq 1,0 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{3,151}{1,0 \cdot 509,9 / 1,0} \right)$$

$$k_{zz} \leq 1,005$$

VYHOVÍ

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,0 = 0,6$$

$$k_{zy} = 0,6 + \lambda_z \leq 1 - \frac{0,1 \cdot \lambda_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}}$$

$$k_{zy} = 0,6 + 0,174 \leq 1 - \frac{0,1 \cdot 0,174}{(1,0 - 0,25)} \cdot \frac{3,151}{1,0 \cdot 509,9 / 1,0}$$

$$k_{zy} = 0,774 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

$$k_{zy} = 0,774$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,32 \cdot 10^5 \cdot 235 = 31,02 \text{ KNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 4,15 \cdot 10^4 \cdot 235 = 9,75 \text{ KNm}$$

POSOUZENÍ

maximální moment M_y

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{3,151}{\frac{0,856 \cdot 509,9}{1,0}} + 1,002 \cdot \frac{0,182 + 0}{\frac{1,0 \cdot 31,02}{1,0}} + 0,6 \cdot \frac{4,064 + 0}{\frac{9,75}{1,0}} \leq 1$$

$$0,263 < 1$$

VYHOVÍ

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{3,151}{\frac{1,0 \cdot 509,9}{1,0}} + 0,774 \cdot \frac{0,182 + 0}{\frac{1,0 \cdot 31,02}{1,0}} + 1,0 \cdot \frac{4,064 + 0}{\frac{9,75}{1,0}} \leq 1$$

$$0,428 < 1$$

VYHOVÍ

maximální moment M_z

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{3,020}{\frac{0,856 \cdot 509,9}{1,0}} + 1,002 \cdot \frac{0,023 + 0}{\frac{1,0 \cdot 31,02}{1,0}} + 0,6 \cdot \frac{4,283 + 0}{\frac{9,75}{1,0}} \leq 1$$

$$0,271 < 1$$

VYHOVÍ

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{3,020}{\frac{1,0 \cdot 509,9}{1,0}} + 0,774 \cdot \frac{0,023 + 0}{\frac{1,0 \cdot 31,02}{1,0}} + 1,0 \cdot \frac{4,283 + 0}{\frac{9,75}{1,0}} \leq 1$$

$$0,446 < 1$$

VYHOVÍ

5.9.5.3 SMYK

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{vy} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{1\,395 \cdot (235 / \sqrt{3})}{1,0} = 189,27 \text{ KN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{1\,006 \cdot (235 / \sqrt{3})}{1,0} = 136,49 \text{ KN}$$

POSOUZENÍ

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,y,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{8,349}{189,27} \leq 1$$

$$0,044 \leq 1$$

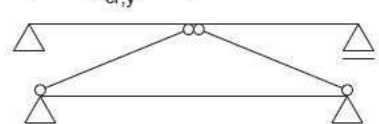
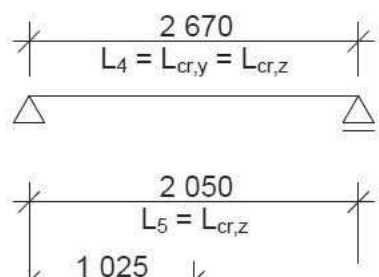
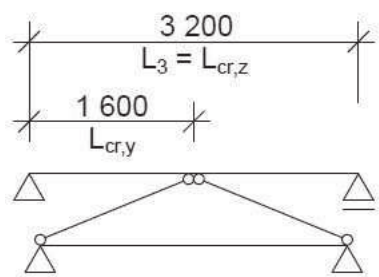
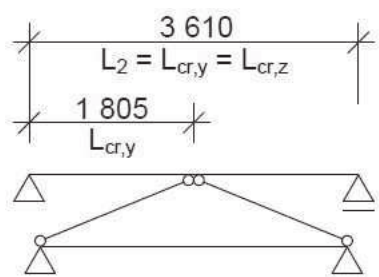
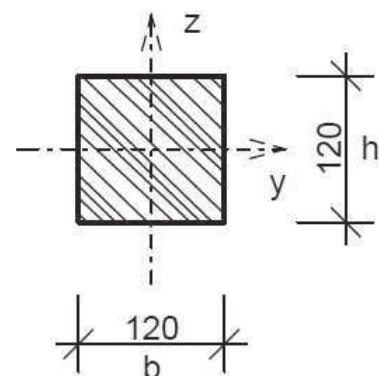
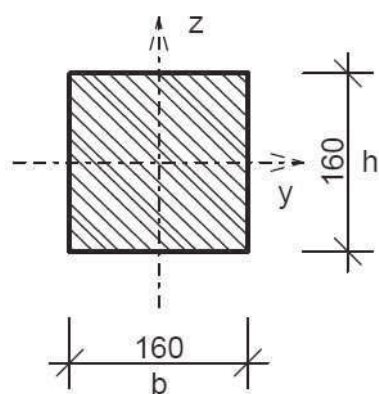
$$0,044 \leq 0,5 \gg \text{zanedbání vlivu na únosnost v ohybu}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{0,870}{136,49} \leq 1$$

$$0,006 \leq 1$$

$$0,006 \leq 0,5 \gg \text{zanedbání vlivu na únosnost v ohybu}$$



6 POSOUZENÍ PRVKŮ – VARIANTA C

6.1 STŘEŠNÍ PLÁŠŤ

viz 4.1

6.2 HORNÍ PÁSY VAZNIC

staticky budou působit jako nosníky osazené do třmenů vsazených mezi horní pásy žebí a podepírané uprostřed rozpětí dvojicí diagonál

6.2.1 GEOMETRIE

| | | vaznice 2, 3, 4 | vaznice 5 |
|-----------------------|-------|--|--|
| šířka | b | 160 mm | 120 mm |
| výška | h | 160 mm | 120 mm |
| plocha průřezu | A | 25 600 mm ² | 14 400 mm ² |
| momenty setrvačnosti | I_y | 5,46 · 10 ⁷ mm ⁴ | 1,73 · 10 ⁷ mm ⁴ |
| | I_z | 5,46 · 10 ⁷ mm ⁴ | 1,73 · 10 ⁷ mm ⁴ |
| průřezové moduly | W_y | 6,83 · 10 ⁵ mm ³ | 2,88 · 10 ⁵ mm ³ |
| | W_z | 6,83 · 10 ⁵ mm ³ | 2,88 · 10 ⁵ mm ³ |
| poloměry setrvačnosti | i_y | 46,2 mm | 34,6 mm |
| | i_z | 46,2 mm | 34,6 mm |
| rozpětí | L | 3 610 mm 3 200 mm 2 670 mm | 2 050 mm |
| osová vzdálenost | B | 2000 mm | 2000 mm |

6.2.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|---------------------------------------|---------------------|
| rostlé dřevo | C22 |
| třída provozu | 2 |
| třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| hodnota k_{mod} | 0,90 |
| souč. vlastnosti materiálu γ_M | 1,30 |

návrhová hodnota pevnosti $f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$

charakteristická pevnost v ohybu $f_{m,k} = 22,0 \text{ MPa}$

návrhová pevnost v ohybu $f_{m,d} = 15,2 \text{ MPa}$

charakteristická pevnost v tahu $f_{t,0,k} = 13,0 \text{ MPa}$

návrhová pevnost v tahu $f_{t,0,d} = 9,0 \text{ MPa}$

charakteristická pevnost v tlaku $f_{c,0,k} = 20,0 \text{ MPa}$

návrhová pevnost v tlaku $f_{c,0,d} = 13,8 \text{ MPa}$

| | |
|-----------------------------------|---|
| charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 3,80 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 2,63 \text{ MPa}$ |
| moduly pružnosti | $E_{0,mean} = 10\,000 \text{ MPa}$ $E_{0,05} = 6\,700 \text{ MPa}$ |
| hustota | $\rho = 340 \text{ kg/m}^3$ |

6.2.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

6.2.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM >> příloha F.3.1

$$V_d = \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2}$$

| | návrhové vnitřní síly – maximální tlak | | | | | |
|---|--|-----------|-----------|-------|-----------|-----------|
| | N_d | $V_{y,d}$ | $V_{z,d}$ | V_d | $M_{y,d}$ | $M_{z,d}$ |
| 2 | - 15,838 | 4,433 | 2,803 | 5,245 | 0,000 | 0,000 |
| 3 | - 34,537 | 0,006 | 3,431 | 3,431 | - 0,308 | - 4,627 |
| 4 | - 14,588 | 2,955 | 0,533 | 3,003 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | - 29,085 | 2,829 | 1,611 | 3,256 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové vnitřní síly – maximální tah | | | | | |
|---|---------------------------------------|-----------|-----------|-------|-----------|-----------|
| | N_d | $V_{y,d}$ | $V_{z,d}$ | V_d | $M_{y,d}$ | $M_{z,d}$ |
| 2 | 32,989 | - 0,047 | - 1,815 | 1,816 | 0,204 | - 4,078 |
| 3 | 28,581 | - 0,035 | - 0,896 | 0,897 | - 0,223 | - 3,222 |
| 4 | 10,029 | 3,005 | 0,473 | 3,042 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | 20,788 | 1,553 | - 0,502 | 1,632 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové vnitřní síly – maximální posouvající síla | | | | | |
|---|--|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|
| | N_d | $V_{y,d}$ | $V_{z,d}$ | V_d | $M_{y,d}$ | $M_{z,d}$ |
| 2 | - 15,838 | 4,433 | 2,803 | 5,245 | 0,000 | 0,000 |
| 3 | - 9,279 | 8,501 | 1,136 | 8,577 | 0,000 | 0,000 |
| 4 | - 9,002 | 6,055 | 6,844 | 9,138 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | - 3,816 | 3,825 | 1,723 | 4,195 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové vnitřní síly – maximální moment M_y | | | | | |
|---|--|-----------|-----------|-------|----------------|-----------|
| | N_d | $V_{y,d}$ | $V_{z,d}$ | V_d | $M_{y,d}$ | $M_{z,d}$ |
| 2 | - 12,709 | 2,221 | - 0,151 | 2,226 | 1,209 | - 3,003 |
| 3 | - 34,465 | 2,985 | - 0,092 | 2,986 | 1,351 | - 3,585 |
| 4 | - 8,845 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 4,594 | - 3,642 |
| 5 | - 19,784 | 0,021 | 3,716 | 3,716 | - 0,672 | - 1,823 |

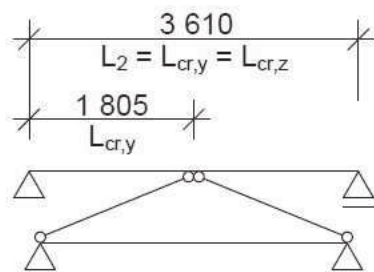
| | návrhové vnitřní síly – maximální moment M_z | | | | | |
|---|--|-----------|-----------|-------|-----------|----------------|
| | N_d | $V_{y,d}$ | $V_{z,d}$ | V_d | $M_{y,d}$ | $M_{z,d}$ |
| 2 | - 9,694 | 0,050 | 2,201 | 2,202 | 0,261 | - 4,083 |
| 3 | - 12,877 | 0,008 | - 2,020 | 2,020 | - 0,707 | - 6,807 |
| 4 | - 9,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 4,573 | - 4,046 |
| 5 | - 8,246 | - 0,013 | - 2,765 | 2,765 | - 0,555 | - 1,951 |

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \quad \tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}$$

| | návrhové napětí – maximální tlak | | | |
|---|----------------------------------|----------|------------------|------------------|
| | $\sigma_{c,0,d}$ | τ_d | $\sigma_{m,y,d}$ | $\sigma_{m,z,d}$ |
| 2 | - 0,619 | 0,307 | 0,000 | 0,000 |
| 3 | - 1,349 | 0,201 | 0,451 | 6,778 |
| 4 | - 0,570 | 0,176 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | - 2,020 | 0,339 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové napětí – maximální tah | | | |
|---|---------------------------------|----------|------------------|------------------|
| | $\sigma_{t,0,d}$ | τ_d | $\sigma_{m,y,d}$ | $\sigma_{m,z,d}$ |
| 2 | 1,289 | 0,106 | 0,299 | 5,974 |
| 3 | 1,116 | 0,053 | 0,327 | 4,720 |
| 4 | 0,392 | 0,178 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | 1,444 | 0,170 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové napětí – maximální posouvající síla | | | |
|---|--|--------------|------------------|------------------|
| | $\sigma_{c,0,d}$ | τ_d | $\sigma_{m,y,d}$ | $\sigma_{m,z,d}$ |
| 2 | - 0,619 | 0,307 | 0,000 | 0,000 |
| 3 | - 0,362 | 0,503 | 0,000 | 0,000 |
| 4 | - 0,352 | 0,535 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | - 0,265 | 0,437 | 0,000 | 0,000 |



$\beta_c = 0,2$ (pro rostlé dřevo)

| | návrhové napětí – maximální moment M_y | | | |
|---|--|----------|------------------|------------------|
| | $\sigma_{c,0,d}$ | τ_d | $\sigma_{m,y,d}$ | $\sigma_{m,z,d}$ |
| 2 | - 0,496 | 0,130 | 1,771 | 4,399 |
| 3 | - 1,346 | 0,175 | 1,979 | 5,251 |
| 4 | - 0,346 | 0,000 | 6,729 | 5,335 |
| 5 | - 1,374 | 0,387 | 2,333 | 6,330 |

| | návrhové napětí – maximální moment M_z | | | |
|---|--|----------|------------------|------------------|
| | $\sigma_{c,0,d}$ | τ_d | $\sigma_{m,y,d}$ | $\sigma_{m,z,d}$ |
| 2 | - 0,379 | 0,129 | 0,382 | 5,981 |
| 3 | - 0,503 | 0,118 | 1,036 | 9,971 |
| 4 | - 0,352 | 0,000 | 6,699 | 5,927 |
| 5 | - 0,573 | 0,288 | 1,927 | 6,774 |

6.2.5 POSOUZENÍ – MSÚ

6.2.5.1 TAH ROVNOBĚŽNĚ S VLÁKNY

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1 \quad (1)$$

6.2.5.2 VZPĚR – VAZNICE 2

$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

$$L_{cr,y} = \frac{L_2}{2} \cdot \beta = \frac{3610}{2} \cdot 1,0 = 1805 \text{ mm}$$

>> podepírané uprostřed rozpětí dvojicí diagonál

$$L_{cr,z} = L_2 \cdot \beta = 3610 \cdot 1,0 = 3610 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1805}{46,2} = 39,1$$

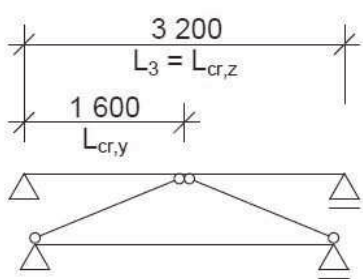
$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3610}{46,2} = 78,1$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{39,1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{20}{6700}} = 0,68$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{78,1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{20}{6700}} = 1,36$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3)) + \lambda_{rel,y}^2$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (0,68 - 0,3)) + 0,68^2 = 0,77$$



$\beta_c = 0,2$ (pro rostlé dřevo)

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,36 - 0,3) + 1,36^2) = 1,53$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,77 + \sqrt{0,77^2 - 0,68^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,884$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,53 + \sqrt{1,53^2 - 1,36^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,448$$

6.2.5.3 VZPĚR – VAZNICE 3

$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

$$L_{cr,y} = \frac{L_3}{2} \cdot \beta = \frac{3\,200}{2} \cdot 1,0 = 1\,600\,mm$$

>> podepírané uprostřed rozpětí dvojicí diagonál

$$L_{cr,z} = L_3 \cdot \beta = 3\,200 \cdot 1,0 = 3\,200\,mm$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1\,600}{46,2} = 34,6$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3\,200}{46,2} = 69,3$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{34,6}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{20}{6\,700}} = 0,60$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{69,3}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{20}{6\,700}} = 1,20$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

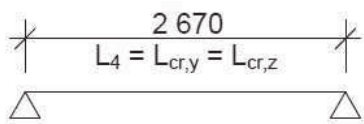
$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (0,60 - 0,3) + 0,60^2) = 0,71$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

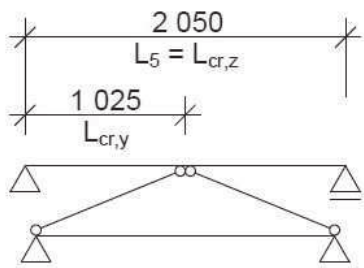
$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,20 - 0,3) + 1,20^2) = 1,32$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,71 + \sqrt{0,71^2 - 0,60^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,918$$



$\beta_c = 0,2$ (pro rostlé dřevo)



$\beta_c = 0,2$ (pro rostlé dřevo)

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,32 + \sqrt{1,32^2 - 1,20^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,535$$

6.2.5.4 VZPĚŘ – VAZNICE 4

$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

$$L_{cr,yz} = L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_4 \cdot \beta = 2\,670 \cdot 1,0 = 2\,670 \text{ mm}$$

$$\lambda_{yz} = \frac{L_{cr,yz}}{i_{yz}} = \frac{2\,670}{46,2} = 57,8$$

$$\lambda_{rel,yz} = \frac{\lambda_{yz}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{57,8}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{20}{6\,700}} = 1,01$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,yz} - 0,3) + \lambda_{rel,yz}^2)$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,01 - 0,3) + 1,01^2) = 1,08$$

$$k_{c,yz} = \frac{1}{k_{yz} + \sqrt{k_{yz}^2 - \lambda_{rel,yz}^2}} = \frac{1}{1,08 + \sqrt{1,08^2 - 1,01^2}}$$

$$k_{c,yz} = 0,684$$

6.2.5.5 VZPĚŘ – VAZNICE 5

$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

$$L_{cr,y} = \frac{L_5}{2} \cdot \beta = \frac{2\,050}{2} \cdot 1,0 = 1\,025 \text{ mm}$$

>> podepírané uprostřed rozpětí dvojicí diagonál

$$L_{cr,z} = L_5 \cdot \beta = 2\,050 \cdot 1,0 = 2\,050 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1\,025}{34,6} = 29,6$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2\,050}{34,6} = 59,2$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{29,6}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{20}{6\,700}} = 0,51$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{59,2}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{20}{6\,700}} = 1,03$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (0,51 - 0,3) + 0,51^2) = 0,65$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,03 - 0,3) + 1,03^2) = 1,10$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,65 + \sqrt{0,65^2 - 0,51^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,950$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,10 + \sqrt{1,10^2 - 1,03^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,673$$

POSOUZENÍ

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (2)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3)$$

6.2.5.6 SMYK

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (4)$$

| | podmínky | | | |
|---|----------|-------|-------|-------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) |
| 2 | 0,143 | 0,360 | 0,472 | 0,117 |
| 3 | 0,124 | 0,567 | 0,772 | 0,191 |
| 4 | 0,044 | 0,751 | 0,736 | 0,203 |
| 5 | 0,160 | 0,550 | 0,672 | 0,166 |

VYHOVÍ

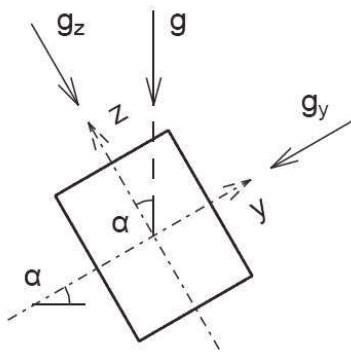
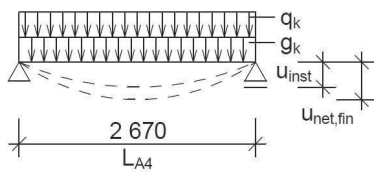
6.2.5.7 KLOPENÍ

$$\sigma_{m,crit,2,3,4} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 160^2}{160 \cdot 3\,610} \cdot 6\,700 = 232 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,crit,5} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 120^2}{120 \cdot 2\,050} \cdot 6\,700 = 306 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,2,3,4}}} = \sqrt{\frac{22}{232}} = 0,308 < 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

KLOPENÍ NENASTANE



6.2.6 POSOUZENÍ – MSP

vaznice A4

6.2.6.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ

vlastní tíha $g_{0,k,A4} = A_{A4} \cdot \rho = 0,0256 \cdot 3,4 = 0,087 \text{ KN/m}$

střešní plášť $g_{1,k} = 1,524 \text{ KN/m}$ viz 2.1.2

podhled $g_{2,k} = 0,400 \text{ KN/m}$ viz 2.1.3

Σ stálé zatížené $g_{k,A4} = g_{0,k,A4} + g_{1,k} + g_{2,k} = 2,011 \text{ KN/m}$

6.2.6.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

viz 2.2

6.2.6.3 ROZKLAD ZATÍŽENÍ

$g_y = g \cdot \sin \alpha$ $g_z = g \cdot \cos \alpha$

| | α [°] | stálé zatížení | | | sníh | | | vítr |
|----|-----------------|----------------|-----------|-----------|-------|-----------|-----------|-------|
| | | g_k | $g_{y,k}$ | $g_{z,k}$ | S_k | $S_{y,k}$ | $S_{z,k}$ | |
| A4 | 41,5 | 2,011 | 1,333 | 1,506 | 2,278 | 1,509 | 1,706 | 0,594 |

6.2.6.4 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{inst,y,G} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{y,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,333 \cdot 10^3 \cdot 2\,670^4}{10\,000 \cdot 10^6 \cdot 5,46 \cdot 10^7}$$

$$u_{inst,y,G} = 1,62 \text{ mm}$$

$$u_{inst,z,G} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{z,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,506 \cdot 10^3 \cdot 2\,670^4}{10\,000 \cdot 10^6 \cdot 5,46 \cdot 10^7}$$

$$u_{inst,z,G} = 1,83 \text{ mm}$$

6.2.6.5 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{inst,y,Q,1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{y,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,509 \cdot 10^3 \cdot 2\,670^4}{10\,000 \cdot 10^6 \cdot 5,46 \cdot 10^7}$$

$$u_{inst,y,Q,1} = 1,83 \text{ mm}$$

$$u_{inst,z,Q,1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{z,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,706 \cdot 10^3 \cdot 2\,670^4}{10\,000 \cdot 10^6 \cdot 5,46 \cdot 10^7}$$

$$u_{inst,z,Q,1} = 2,07 \text{ mm}$$

$$u_{inst,z,Q,i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{w_{z,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,594 \cdot 10^3 \cdot 2\,670^4}{10\,000 \cdot 10^6 \cdot 5,46 \cdot 10^7}$$

$$u_{inst,z,Q,i} = 0,72 \text{ mm}$$

$$u_{inst,y} = u_{inst,y,G} + u_{inst,y,Q,1} = 1,62 + 1,83 = 3,45 \text{ mm}$$

$$u_{inst,z} = u_{inst,z,G} + u_{inst,z,Q,1} + \psi_{0,i} \cdot u_{inst,z,Q,i}$$

$$u_{inst,z} = 1,83 + 2,07 + 0,6 \cdot 0,72 = 4,33 \text{ mm}$$

$$u_{inst} = \sqrt{u_{inst,y}^2 + u_{inst,z}^2} = \sqrt{3,45^2 + 4,33^2} = 5,54 \text{ mm}$$

$$u_{inst} \leq \frac{L}{450} = \frac{2\,670}{450} = 5,93 \text{ mm}$$

$$5,54 \text{ mm} < 5,93 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

6.2.6.6 KONEČNÝ PRŮHYB

$$k_{def} = 0,8$$

$$u_{fin,y,G} = u_{inst,y,G} \cdot (1 + k_{def}) = 1,62 \cdot (1 + 0,8) = 2,92 \text{ mm}$$

$$u_{fin,z,G} = u_{inst,z,G} \cdot (1 + k_{def}) = 1,83 \cdot (1 + 0,8) = 3,29 \text{ mm}$$

$$u_{fin,y,Q,1} = u_{inst,y,Q,1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 1,83 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 1,83 \text{ mm}$$

$$u_{fin,z,Q,1} = u_{inst,z,Q,1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 2,07 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 2,07 \text{ mm}$$

$$u_{fin,z,Q,i} = u_{inst,z,Q,i} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def})$$

$$u_{fin,z,Q,i} = 0,72 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,8) = 0,43 \text{ mm}$$

$$u_{fin,y} = u_{fin,y,G} + u_{fin,y,Q,1} = 2,92 + 1,83 = 4,75 \text{ mm}$$

$$u_{fin,z} = u_{fin,z,G} + u_{fin,z,Q,1} + u_{fin,z,Q,i}$$

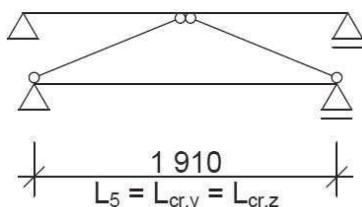
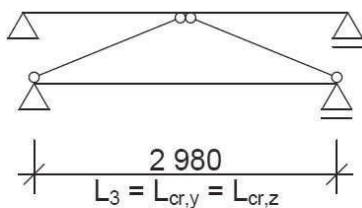
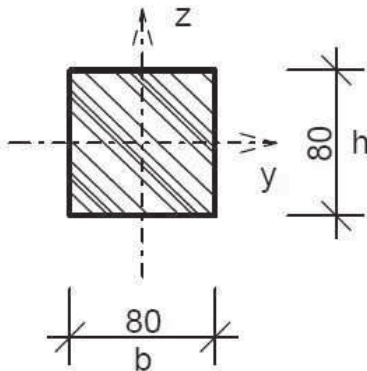
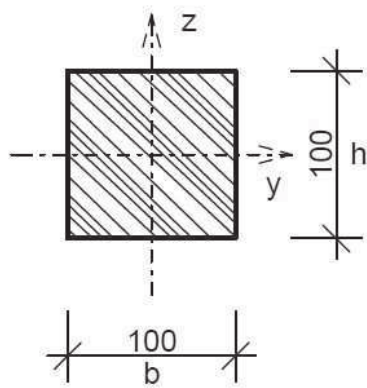
$$u_{fin,z} = 3,29 + 2,07 + 0,43 = 5,79 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = \sqrt{u_{fin,y}^2 + u_{fin,z}^2} = \sqrt{4,75^2 + 5,79^2} = 7,49 \text{ mm}$$

$$u_{fin} \leq \frac{L}{350} = \frac{2\,670}{350} = 7,63 \text{ mm}$$

$$7,49 \text{ mm} < 7,63 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



6.3 DOLNÍ PÁSY VAZNIC

staticky budou působit jako nosníky osazené do třmenů vsazených mezi dolní pásy žeber

6.3.1 GEOMETRIE

| | | vaznice 3 | vaznice 5 |
|-----------------------|-------|--|--|
| šířka | b | 100 mm | 80 mm |
| výška | h | 100 mm | 80 mm |
| plocha průřezu | A | 10 000 mm ² | 6 400 mm ² |
| momenty setrvačnosti | I_y | 8,33 · 10 ⁶ mm ⁴ | 3,41 · 10 ⁶ mm ⁴ |
| | I_z | 8,33 · 10 ⁶ mm ⁴ | 3,41 · 10 ⁶ mm ⁴ |
| průřezové moduly | W_y | 1,67 · 10 ⁵ mm ³ | 8,53 · 10 ⁴ mm ³ |
| | W_z | 1,67 · 10 ⁵ mm ³ | 8,53 · 10 ⁴ mm ³ |
| poloměry setrvačnosti | i_y | 28,9 mm | 23,1 mm |
| | i_z | 28,9 mm | 23,1 mm |
| rozpětí | L | 2 980 mm | 1 910 mm |
| osová vzdálenost | B | 1 850 mm | 1 850 mm |

6.3.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|---------------------------------------|--|
| rostlé dřevo | C18 |
| třída provozu | 2 |
| třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| hodnota k_{mod} | 0,90 |
| souč. vlastnosti materiálu γ_M | 1,30 |
| návrhová hodnota pevnosti | $f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$ |
| charakteristická pevnost v ohybu | $f_{m,k} = 18,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v ohybu | $f_{m,d} = 12,5 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tahu | $f_{t,0,k} = 11,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tahu | $f_{t,0,d} = 7,6 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tlaku | $f_{c,0,k} = 18,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tlaku | $f_{c,0,d} = 12,5 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 3,40 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 2,35 \text{ MPa}$ |
| moduly pružnosti | $E_{0,mean} = 9\,000 \text{ MPa}$ $E_{0,05} = 6\,000 \text{ MPa}$ |
| hustota | $\rho = 320 \text{ kg/m}^3$ |

6.3.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

6.3.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM >> příloha F.3.2

$$V_d = \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2}$$

| | návrhové vnitřní síly – maximální tlak | | | | | |
|---|--|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| 3 | - 29,410 | 0,061 | 0,047 | 0,077 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | - 23,174 | 0,016 | 0,027 | 0,031 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové vnitřní síly – maximální tah | | | | | |
|---|---------------------------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| 3 | 35,846 | 0,061 | 0,047 | 0,077 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | 27,761 | 0,016 | 0,027 | 0,031 | 0,000 | 0,000 |

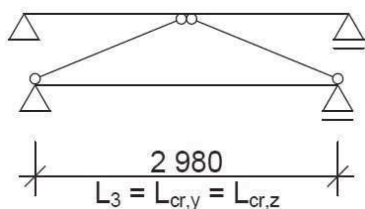
| | návrhové vnitřní síly – maximální posouvající síla | | | | | |
|---|--|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| 3 | - 1,013 | 0,061 | 0,047 | 0,077 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | - 3,305 | 0,016 | 0,027 | 0,031 | 0,000 | 0,000 |

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \quad \tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}$$

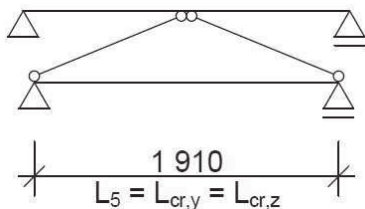
| | návrhové napětí – maximální tlak | | | |
|---|----------------------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| | σ _{c,0,d} | τ _d | σ _{m,y,d} | σ _{m,z,d} |
| 3 | - 2,941 | 0,012 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | - 3,621 | 0,007 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové napětí – maximální tah | | | |
|---|---------------------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| | σ _{t,0,d} | τ _d | σ _{m,y,d} | σ _{m,z,d} |
| 3 | 3,585 | 0,012 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | 4,338 | 0,007 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové napětí – maximální posouvající síla | | | |
|---|--|----------------|--------------------|--------------------|
| | σ _{c,0,d} | τ _d | σ _{m,y,d} | σ _{m,z,d} |
| 3 | - 0,101 | 0,012 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | - 0,516 | 0,007 | 0,000 | 0,000 |



$\beta_c = 0,2$ (pro rostlé dřevo)



$\beta_c = 0,2$ (pro rostlé dřevo)

6.3.5 POSOUZENÍ – MSÚ

6.3.5.1 TAH ROVNOBĚŽNĚ S VLÁKNY

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1 \quad (1)$$

6.3.5.2 VZPĚR – VAZNICE 3

$\beta = 1,0 \gg$ prosté podepření

$$L_{cr,yz} = L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_3 \cdot \beta = 2\,980 \cdot 1,0 = 2\,980 \text{ mm}$$

$$\lambda_{yz} = \frac{L_{cr,yz}}{i_{yz}} = \frac{2\,980}{28,9} = 103$$

$$\lambda_{rel,yz} = \frac{\lambda_{yz}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{103}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{18}{6\,000}} = 1,80$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,yz} - 0,3) + \lambda_{rel,yz}^2)$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,80 - 0,3) + 1,80^2) = 2,27$$

$$k_{c,yz} = \frac{1}{k_{yz} + \sqrt{k_{yz}^2 - \lambda_{rel,yz}^2}} = \frac{1}{2,27 + \sqrt{2,27^2 - 1,80^2}}$$

$$k_{c,yz} = 0,274$$

6.3.5.3 VZPĚR – VAZNICE 5

$\beta = 1,0 \gg$ prosté podepření

$$L_{cr,yz} = L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_5 \cdot \beta = 1\,910 \cdot 1,0 = 1\,910 \text{ mm}$$

$$\lambda_{yz} = \frac{L_{cr,yz}}{i_{yz}} = \frac{1\,910}{23,1} = 82,7$$

$$\lambda_{rel,yz} = \frac{\lambda_{yz}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{82,7}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{18}{6\,000}} = 1,44$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,yz} - 0,3) + \lambda_{rel,yz}^2)$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,44 - 0,3) + 1,44^2) = 1,65$$

$$k_{c,yz} = \frac{1}{k_{yz} + \sqrt{k_{yz}^2 - \lambda_{rel,yz}^2}} = \frac{1}{1,65 + \sqrt{1,65^2 - 1,44^2}}$$

$$k_{c,yz} = 0,407$$

POSOUZENÍ

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (2)$$

6.3.5.4 SMYK

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (3)$$

| | podmínky | | |
|---|----------|-------|-------|
| | (1) | (2) | (3) |
| 3 | 0,472 | 0,859 | 0,005 |
| 5 | 0,571 | 0,712 | 0,003 |

VYHOVÍ

6.3.5.5 KLOPENÍ

$$\sigma_{m,crit,3} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 100^2}{100 \cdot 2\,980} \cdot 6\,000 = 157 \text{ MPa}$$

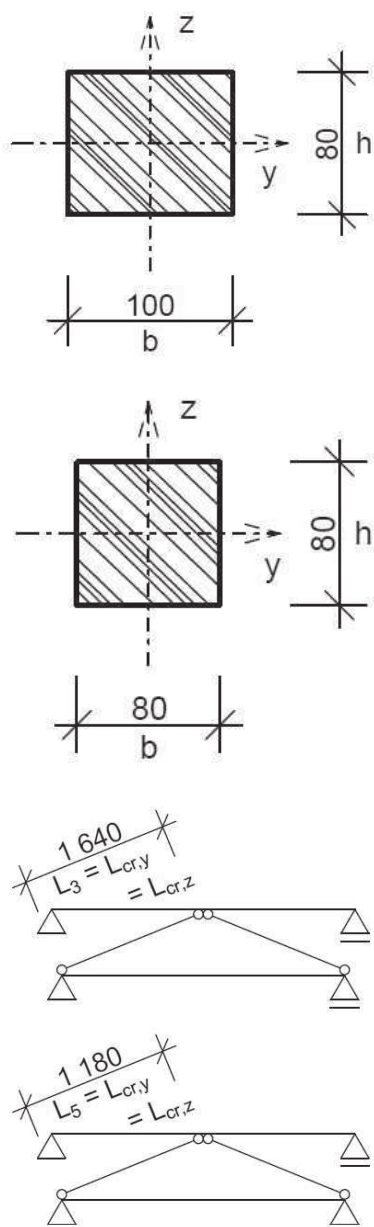
$$\sigma_{m,crit,5} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 80^2}{80 \cdot 1\,910} \cdot 6\,000 = 196 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,3}}} = \sqrt{\frac{18}{157}} = 0,339 < 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

KLOPENÍ NENASTANE

6.3.6 POSOUZENÍ – MSP

pozn. posouzeno v rámci celé vaznice >> viz 6.2.6



6.4 DIAGONÁLY VAZNIC

staticky budou působit jako nosníky osazené do třmenů mezi horními a dolními pásy vaznic

6.4.1 GEOMETRIE

| | | vaznice 3 | vaznice 5 |
|-----------------------|-------|--|--|
| šířka | b | 100 mm | 80 mm |
| výška | h | 80 mm | 80 mm |
| plocha průřezu | A | 8 000 mm ² | 6 400 mm ² |
| momenty setrvačnosti | I_y | 4,27 · 10 ⁶ mm ⁴ | 3,41 · 10 ⁶ mm ⁴ |
| | I_z | 6,67 · 10 ⁶ mm ⁴ | 3,41 · 10 ⁶ mm ⁴ |
| průřezové moduly | W_y | 1,07 · 10 ⁵ mm ³ | 8,53 · 10 ⁴ mm ³ |
| | W_z | 1,33 · 10 ⁵ mm ³ | 8,53 · 10 ⁴ mm ³ |
| poloměry setrvačnosti | i_y | 23,1 mm | 23,1 mm |
| | i_z | 28,9 mm | 23,1 mm |
| rozpětí | L | 1 640 mm | 1 180 mm |

6.4.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|---------------------------------------|--|
| rostlé dřevo | C18 |
| třída provozu | 2 |
| třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| hodnota k_{mod} | 0,90 |
| souč. vlastnosti materiálu γ_M | 1,30 |
| návrhová hodnota pevnosti | $f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$ |
| charakteristická pevnost v ohybu | $f_{m,k} = 18,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v ohybu | $f_{m,d} = 12,5 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tahu | $f_{t,0,k} = 11,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tahu | $f_{t,0,d} = 7,6 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tlaku | $f_{c,0,k} = 18,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tlaku | $f_{c,0,d} = 12,5 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 3,40 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 2,35 \text{ MPa}$ |
| moduly pružnosti | $E_{0,mean} = 9\,000 \text{ MPa}$ $E_{0,05} = 6\,000 \text{ MPa}$ |
| hustota | $\rho = 320 \text{ kg/m}^3$ |

6.4.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

6.4.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM >> příloha F.3.3

$$V_d = \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2}$$

| | návrhové vnitřní síly – maximální tlak | | | | | |
|---|--|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| 3 | - 18,038 | 0,026 | - 0,020 | 0,033 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | - 13,216 | 0,008 | - 0,014 | 0,016 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové vnitřní síly – maximální tah | | | | | |
|---|---------------------------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| 3 | 10,308 | - 0,026 | 0,020 | 0,033 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | 11,233 | 0,008 | - 0,014 | 0,016 | 0,000 | 0,000 |

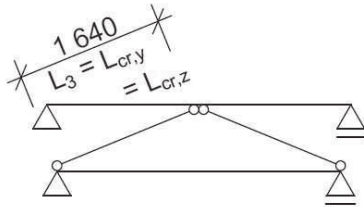
| | návrhové vnitřní síly – maximální posouvající síla | | | | | |
|---|--|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| 3 | - 3,779 | 0,026 | - 0,020 | 0,033 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | - 2,370 | 0,008 | - 0,014 | 0,016 | 0,000 | 0,000 |

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \quad \tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}$$

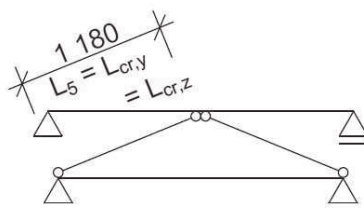
| | návrhové napětí – maximální tlak | | | |
|---|----------------------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| | σ _{c,0,d} | τ _d | σ _{m,y,d} | σ _{m,z,d} |
| 3 | - 2,255 | 0,006 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | - 2,065 | 0,004 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové napětí – maximální tah | | | |
|---|---------------------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| | σ _{t,0,d} | τ _d | σ _{m,y,d} | σ _{m,z,d} |
| 3 | 1,289 | 0,006 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | 1,755 | 0,004 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové napětí – maximální posouvající síla | | | |
|---|--|----------------|--------------------|--------------------|
| | σ _{c,0,d} | τ _d | σ _{m,y,d} | σ _{m,z,d} |
| 3 | - 0,472 | 0,006 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | - 0,370 | 0,004 | 0,000 | 0,000 |



$\beta_c = 0,2$ (pro rostlé dřevo)



$\beta_c = 0,2$ (pro rostlé dřevo)

6.4.5 POSOUZENÍ – MSÚ

6.4.5.1 TAH ROVNOBĚŽNĚ S VLÁKNY

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1 \quad (1)$$

6.4.5.2 VZPĚR – VAZNICE 3

$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_3 \cdot \beta = 1\,640 \cdot 1,0 = 1\,640 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1\,640}{23,1} = 71,0$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{1\,640}{28,9} = 56,7 < \lambda_y = 71,0$$

>> rozhodující je vzpěr kolmý na osu y

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{71,0}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{18}{6\,000}} = 1,24$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,24 - 0,3) + 1,24^2) = 1,36$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,36 + \sqrt{1,36^2 - 1,24^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,521$$

6.4.5.3 VZPĚR – VAZNICE 5

$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

$$L_{cr,yz} = L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_5 \cdot \beta = 1\,180 \cdot 1,0 = 1\,180 \text{ mm}$$

$$\lambda_{yz} = \frac{L_{cr,yz}}{i_{yz}} = \frac{1\,180}{23,1} = 51,1$$

$$\lambda_{rel,yz} = \frac{\lambda_{yz}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{51,1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{18}{6\,000}} = 0,89$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,yz} - 0,3) + \lambda_{rel,yz}^2)$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (0,89 - 0,3) + 0,89^2) = 0,96$$

$$k_{c,yz} = \frac{1}{k_{yz} + \sqrt{k_{yz}^2 - \lambda_{rel,yz}^2}} = \frac{1}{0,96 + \sqrt{0,96^2 - 0,89^2}}$$

$$k_{c,yz} = 0,758$$

POSOUZENÍ

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (2)$$

6.4.5.4 SMYK

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (3)$$

| | podmínky | | |
|---|----------|-------|-------|
| | (1) | (2) | (3) |
| 3 | 0,170 | 0,346 | 0,003 |
| 5 | 0,231 | 0,218 | 0,002 |

VYHOVÍ

6.4.5.5 KLOPENÍ

$$\sigma_{m,crit,3} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 100^2}{80 \cdot 1\,640} \cdot 6\,000 = 357 \text{ MPa}$$

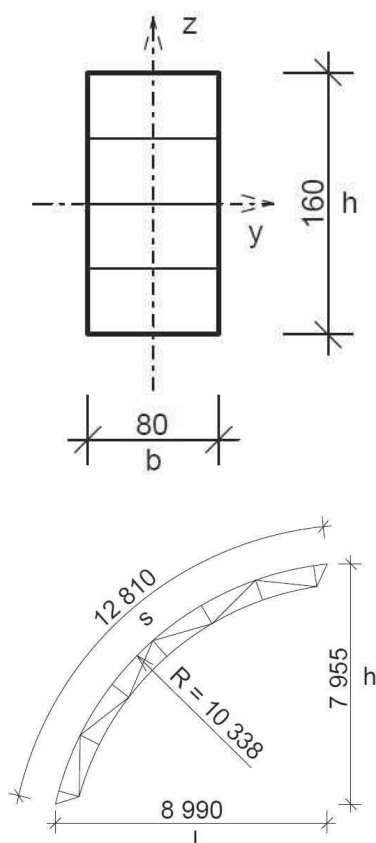
$$\sigma_{m,crit,5} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 80^2}{80 \cdot 1\,180} \cdot 6\,000 = 317 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,5}}} = \sqrt{\frac{18}{317}} = 0,238 < 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

KLOPENÍ NENASTANE

6.4.6 POSOUZENÍ – MSP

pozn. posouzeno v rámci celé vaznice >> viz 6.2.6



6.5 HORNÍ PÁSY ŽEBER

6.5.1 GEOMETRIE

| | |
|-----------------------------|---|
| šířka | $b = 80 \text{ mm}$ |
| výška | $h = 160 \text{ mm}$ |
| plocha průřezu | $A = b \cdot h = 12\,800 \text{ mm}^2$ |
| moment setrvačnosti | $I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = 2,73 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$ |
| | $I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = 6,83 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$ |
| průřezový modul | $W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = 3,41 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ |
| | $W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = 1,71 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ |
| poloměry setrvačnosti | $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 46,2 \text{ mm}$ |
| | $i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 23,1 \text{ mm}$ |
| rozpětí | $l = 8\,990 \text{ mm}$ |
| vzepětí | $h = 7\,955 \text{ mm}$ |
| délka střednice | $s = 12\,810 \text{ mm}$ |
| poloměr zakřivení střednice | $R = 10\,338 \text{ mm}$ |

6.5.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|---|---|
| rostlé dřevo | <i>GL24h</i> |
| třída provozu | 2 |
| třída trvání zatížení | <i>krátkodobé zatížení</i> |
| hodnota k_{mod} | 0,90 |
| souč. vlastnosti materiálu γ_M | 1,25 |
| návrhová hodnota pevnosti | $f_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$ |
| charakteristická pevnost v ohybu | $f_{m,k} = 24,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v ohybu | $f_{m,d} = 17,3 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tahu | $f_{t,0,k} = 16,5 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tahu | $f_{t,0,d} = 11,9 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tahu \perp | $f_{t,90,k} = 0,400 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tahu \perp | $f_{t,90,d} = 0,288 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tlaku | $f_{c,0,k} = 24,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tlaku | $f_{c,0,d} = 17,3 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 2,70 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 1,94 \text{ MPa}$ |
| moduly pružnosti | $E_{0,\text{mean}} = 11\,600 \text{ MPa}$ |
| | $E_{0,05} = 9\,400 \text{ MPa}$ |

hustota

$$\rho = 380 \text{ kg/m}^3$$

6.5.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

6.5.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM

>>

příloha F.3.4, F.3.7

| | N_d | $V_{y,d}$ | $V_{z,d}$ | $M_{y,d}$ | $M_{z,d}$ |
|-----------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| maximální tlak (A01) | - 72,066 | - 0,041 | 2,134 | 0,000 | 0,001 |
| maximální tah (A01) | 19,828 | 0,032 | - 0,100 | 0,306 | - 0,031 |
| maximální posouvající síla (A16) | - 69,596 | - 0,010 | - 6,773 | 2,440 | - 0,015 |
| maximální moment ve vrcholu (A16) | - 49,457 | 0,017 | - 5,015 | 2,225 | 0,005 |
| maximální moment M_y (A16) | - 69,596 | - 0,010 | - 6,773 | 2,440 | - 0,015 |
| maximální moment M_z (A05) | - 48,463 | 0,183 | - 5,490 | 1,873 | 0,254 |

6.5.5 POSOUZENÍ – MSÚ

6.5.5.1 PODÉLNÉ NORMÁLOVÉ NAPĚTÍ – VE VRCHOLU

$$h_{ap} = h = 160 \text{ mm}$$

$$\alpha_{ap} = 0^\circ$$

$$r_{in} = 10\,338 \text{ mm}$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \text{tg } \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \text{tg}^2 \alpha_{ap} = 1 + 1,4 \cdot \text{tg } 0 + 5,4 \cdot \text{tg}^2 0$$

$$k_1 = 1,0$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \text{tg } \alpha_{ap} = 0,35 - 8 \cdot \text{tg } 0 = 0,35$$

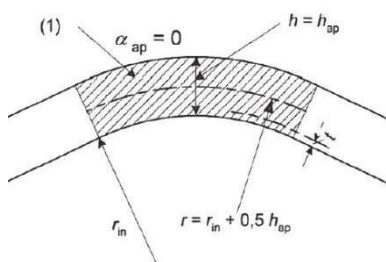
$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \text{tg } \alpha_{ap} - 7,8 \cdot \text{tg}^2 \alpha_{ap} = 0,6 + 8,3 \cdot \text{tg } 0 - 7,8 \cdot \text{tg}^2 0$$

$$k_3 = 0,6$$

$$k_4 = 6 \cdot \text{tg}^2 \alpha_{ap} = 6 \cdot \text{tg}^2 0 = 0$$

$$k_l = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3$$

$$k_l = 1,0 + 0,35 \cdot \left(\frac{160}{10\,338}\right) + 0,6 \cdot \left(\frac{160}{10\,338}\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{160}{10\,338}\right)^3$$



$$k_l = 1,006$$

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 1,006 \cdot \frac{6 \cdot 2,225 \cdot 10^6}{80 \cdot 160^2} = 6,56 \text{ MPa}$$

$$\frac{r_{in}}{t} = \frac{10\,338}{40} = 258 > 240 \gg k_r = 1,0$$

POSOUZENÍ

$$\sigma_{m,d} \leq k_r \cdot f_{m,d} = 1,0 \cdot 17,3 = 17,3 \text{ MPa}$$

$$6,56 < 17,3$$

VYHOVÍ

6.5.5.2 PŘÍČNÉ NORMÁLOVÉ NAPĚTÍ – VE VRCHOLU

$$k_5 = 0,2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} = 0,2 \cdot \operatorname{tg} 0 = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 2,6 \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap}$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \operatorname{tg} 0 + 2,6 \operatorname{tg}^2 0 = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 4 \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 2,1 \cdot \operatorname{tg} 0 - 4 \operatorname{tg}^2 0 = 0$$

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2$$

$$k_p = 0 + 0,25 \cdot \left(\frac{160}{10\,338}\right) + 0 \cdot \left(\frac{160}{10\,338}\right)^2$$

$$k_p = 0,0039$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 0,0039 \cdot \frac{6 \cdot 2,225 \cdot 10^6}{80 \cdot 160^2} = 0,025 \text{ MPa}$$

$$V_0 = 0,01 \text{ m}^3 \quad \text{referenční objem}$$

$$V = \frac{\beta \cdot \pi}{180} \cdot b \cdot (h_{ap}^2 + 2 \cdot r_{in} \cdot h_{ap})$$

$$V = \frac{77 \cdot \pi}{180} \cdot 0,08 \cdot (0,16^2 + 2 \cdot 10,338 \cdot 0,16) = 0,358 \text{ m}^3$$

$$V \leq \frac{2}{3} \cdot V_b = \frac{2}{3} \cdot (A \cdot s) = \frac{2}{3} \cdot (0,0128 \cdot 12,810) = 0,109 \text{ m}^3$$

$$0,358 \not\leq 0,109 \text{ m}^3 \gg V = 0,109 \text{ m}^3$$

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{0,109}\right)^{0,2} = 0,620$$

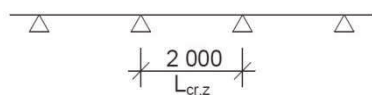
$$k_{dis} = 1,4$$

POSOUZENÍ

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 1,4 \cdot 0,620 \cdot 0,288 = 0,250 \text{ MPa}$$

$$0,025 < 0,250$$

VYHOVÍ



$$\beta_c = 0,1 \text{ (pro LLD)}$$

6.5.5.1 OHYB A OSOVÝ TAH

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{19,828 \cdot 10^3}{12\,800} = 1,55 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{0,306 \cdot 10^6}{3,41 \cdot 10^5} = 0,897 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,031 \cdot 10^6}{1,71 \cdot 10^5} = 0,181 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,55}{11,9} + \frac{0,897}{17,3} + 0,7 \cdot \frac{0,181}{17,3} \leq 1$$

$$0,189 < 1$$

VYHOVÍ

6.5.5.2 VZPĚR – Z ROVINY ŽEBRA

$$L_{cr,z} = 2\,000 \text{ mm} \gg \text{vybočení je bráněno vaznicemi}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2\,000}{23,1} = 86,6$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{86,6}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9\,400}} = 1,39$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,39 - 0,3) + 1,39^2) = 1,52$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,52 + \sqrt{1,52^2 - 1,39^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,468$$

POSOUZENÍ

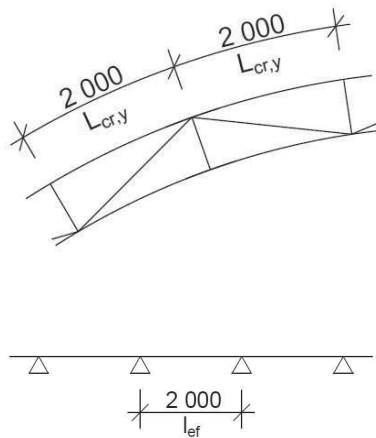
maximální moment M_y

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{69,596 \cdot 10^3}{12\,800} = 5,44 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{2,440 \cdot 10^6}{3,41 \cdot 10^5} = 7,16 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,015 \cdot 10^6}{1,71 \cdot 10^5} = 0,088 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$



$$\frac{5,44}{0,468 \cdot 17,3} + 0,7 \cdot \frac{7,16}{17,3} + \frac{0,088}{17,3} \leq 1$$

$$0,967 < 1$$

VYHOVÍ

maximální tlak

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{72,066 \cdot 10^3}{12\,800} = 5,63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{0,000 \cdot 10^6}{3,41 \cdot 10^5} = 0,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,001 \cdot 10^6}{1,71 \cdot 10^5} = 0,006 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{5,63}{0,468 \cdot 17,3} + 0,7 \cdot \frac{0,00}{17,3} + \frac{0,006}{17,3} \leq 1$$

$$0,696 < 1$$

VYHOVÍ

6.5.5.3 VZPĚR – V ROVINĚ ŽEBRA

$L_{cr,y} = 2\,000 \text{ mm} \gg$ vybočení je bráněno svislicemi a diagonálami

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2\,000}{46,2} = 43,3 < \lambda_z = 86,6$$

\gg rozhodující je vzpěr z roviny žebra

6.5.5.4 KLOPENÍ

$l_{ef} = 2\,000 \text{ mm} \gg$ klopení je bráněno vaznicemi

$$t = b = 80 \text{ mm}$$

$$a = h = 160 \text{ mm}$$

$$I_{tor} = \left(1 - 0,63 \cdot \frac{t}{a}\right) \cdot \frac{t^3 \cdot a}{3} = \left(1 - 0,63 \cdot \frac{80}{160}\right) \cdot \frac{80^3 \cdot 160}{3}$$

$$I_{tor} = 1,87 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

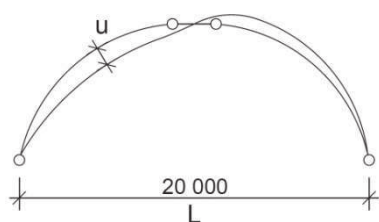
$$G_{0,05} = 583 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{9\,400 \cdot 6,83 \cdot 10^6 \cdot 583 \cdot 1,87 \cdot 10^7}}{2\,000 \cdot 3,41 \cdot 10^5} = 122 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{122}} = 0,444 < 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

KLOPENÍ NENASTANE



6.5.5.5 SMYK

$$V_d = \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2} = \sqrt{(-0,010)^2 + (-6,773)^2} = 6,773 \text{ kN}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{6,773 \cdot 10^3}{12\,800} = 0,794 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$0,794 < 1,94$$

VYHOVÍ

6.5.6 POSOUZENÍ – MSP

žebro 1

hodnoty převzaty z programu RFEM >> příloha F.3.9

6.5.6.1 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{inst,G} = 1,20 \text{ mm}$$

6.5.6.2 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{w,z} = 13,4 \text{ mm} \quad \text{ZS5 – vítr západní}$$

$$u_{s,na} = 5,2 \text{ mm} \quad \text{ZS4 – sníh navátý}$$

$$u_{inst,Q,1} = u_{w,z} = 13,4 \text{ mm}$$

$$u_{inst,Q,i} = u_{s,n} = 5,2 \text{ mm}$$

$$u_{inst} = u_{inst,G} + u_{inst,Q,1} + \psi_{0,i} \cdot u_{inst,Q,i}$$

$$u_{inst,z} = 1,20 + 13,4 + 0,5 \cdot 5,2 = 17,2 \text{ mm}$$

$$u_{inst} \leq \frac{L}{500} = \frac{20\,000}{500} = 40,0 \text{ mm}$$

$$17,2 \text{ mm} < 40,0 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

6.5.6.3 KONEČNÝ PRŮHYB

$$k_{def} = 0,8$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 1,20 \cdot (1 + 0,8) = 2,16 \text{ mm}$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 13,4 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 13,4 \text{ mm}$$

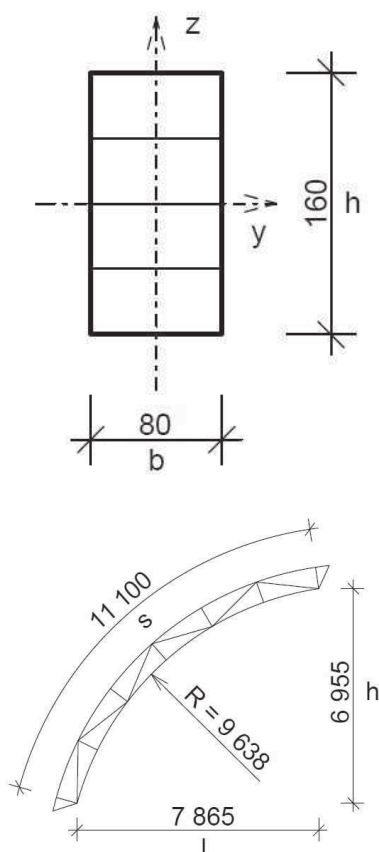
$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def}) = 5,2 \cdot (0,5 + 0 \cdot 0,8) = 2,6 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q,1} + u_{fin,Q,i} = 2,16 + 13,4 + 2,6 = 18,2 \text{ mm}$$

$$u_{fin} \leq \frac{L}{350} = \frac{20\,000}{350} = 57,1 \text{ mm}$$

$$18,2 \text{ mm} < 57,1 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



6.6 DOLNÍ PÁSY ŽEBER

6.6.1 GEOMETRIE

| | |
|-----------------------------|---|
| šířka | $b = 80 \text{ mm}$ |
| výška | $h = 160 \text{ mm}$ |
| plocha průřezu | $A = b \cdot h = 12\,800 \text{ mm}^2$ |
| moment setrvačnosti | $I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = 2,73 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$ |
| | $I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = 6,83 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$ |
| průřezový modul | $W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = 3,41 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ |
| | $W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = 1,71 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ |
| poloměry setrvačnosti | $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 46,2 \text{ mm}$ |
| | $i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 23,1 \text{ mm}$ |
| rozpětí | $l = 7\,865 \text{ mm}$ |
| vzepětí | $h = 6\,955 \text{ mm}$ |
| délka střednice | $s = 11\,100 \text{ mm}$ |
| poloměr zakřivení střednice | $R = 9\,638 \text{ mm}$ |

6.6.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|---|---|
| rostlé dřevo | <i>GL24h</i> |
| třída provozu | 2 |
| třída trvání zatížení | <i>krátkodobé zatížení</i> |
| hodnota k_{mod} | 0,90 |
| souč. vlastnosti materiálu γ_M | 1,25 |
| návrhová hodnota pevnosti | $f_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$ |
| charakteristická pevnost v ohybu | $f_{m,k} = 24,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v ohybu | $f_{m,d} = 17,3 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tahu | $f_{t,0,k} = 16,5 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tahu | $f_{t,0,d} = 11,9 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tahu \perp | $f_{t,90,k} = 0,400 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tahu \perp | $f_{t,90,d} = 0,288 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tlaku | $f_{c,0,k} = 24,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tlaku | $f_{c,0,d} = 17,3 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 2,70 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 1,94 \text{ MPa}$ |
| moduly pružnosti | $E_{0,\text{mean}} = 11\,600 \text{ MPa}$ |
| | $E_{0,05} = 9\,400 \text{ MPa}$ |

hustota

$$\rho = 380 \text{ kg/m}^3$$

6.6.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

6.6.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM

>>

příloha F.3.5, F.3.8

| | N_d | $V_{y,d}$ | $V_{z,d}$ | $M_{y,d}$ | $M_{z,d}$ |
|--|-----------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| maximální tlak (A05) (dolní část) | - 40,858 | 0,000 | - 0,025 | 0,000 | 0,000 |
| maximální tlak (A09) (střední část) | - 26,190 | 0,001 | - 0,152 | - 0,537 | 0,001 |
| maximální tah (A01) | 33,079 | - 0,007 | - 0,264 | 1,233 | 0,007 |
| maximální posouvající síla (A01) | - 39,396 | 0,002 | 4,112 | 0,622 | - 0,003 |
| maximální moment ve vrcholu (A01) | 31,698 | 0,004 | - 0,098 | 1,016 | 0,003 |
| maximální moment M_y (A01) | - 39,619 | 0,002 | 0,338 | - 1,437 | - 0,002 |
| maximální moment M_z (A02) | - 9,216 | - 0,019 | - 0,798 | 0,100 | - 0,042 |

6.6.5 POSOUZENÍ – MSÚ

6.6.5.1 PODÉLNÉ NORMÁLOVÉ NAPĚTÍ – VE VRCHOLU

$$h_{ap} = h = 160 \text{ mm}$$

$$\alpha_{ap} = 0^\circ$$

$$r_{in} = 9\,638 \text{ mm}$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \text{tg } \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \text{tg}^2 \alpha_{ap} = 1 + 1,4 \cdot \text{tg } 0 + 5,4 \cdot \text{tg}^2 0$$

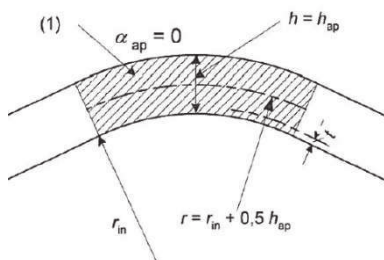
$$k_1 = 1,0$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \text{tg } \alpha_{ap} = 0,35 - 8 \cdot \text{tg } 0 = 0,35$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \text{tg } \alpha_{ap} - 7,8 \cdot \text{tg}^2 \alpha_{ap} = 0,6 + 8,3 \cdot \text{tg } 0 - 7,8 \cdot \text{tg}^2 0$$

$$k_3 = 0,6$$

$$k_4 = 6 \cdot \text{tg}^2 \alpha_{ap} = 6 \cdot \text{tg}^2 0 = 0$$



$$k_l = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3$$

$$k_l = 1,0 + 0,35 \cdot \left(\frac{160}{9\,638}\right) + 0,6 \cdot \left(\frac{160}{9\,638}\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{160}{9\,638}\right)^3$$

$$k_l = 1,006$$

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 1,006 \cdot \frac{6 \cdot 1,016 \cdot 10^6}{80 \cdot 160^2} = 2,99 \text{ MPa}$$

$$\frac{r_{in}}{t} = \frac{9\,638}{40} = 241 > 240 \gg k_r = 1,0$$

POSOUZENÍ

$$\sigma_{m,d} \leq k_r \cdot f_{m,d} = 1,0 \cdot 17,3 = 17,3 \text{ MPa}$$

$$2,99 < 17,3$$

VYHOVÍ

6.6.5.2 PŘÍČNÉ NORMÁLOVÉ NAPĚTÍ – VE VRCHOLU

$$k_5 = 0,2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} = 0,2 \cdot \operatorname{tg} 0 = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 2,6 \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap}$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \operatorname{tg} 0 + 2,6 \operatorname{tg}^2 0 = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 4 \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 2,1 \cdot \operatorname{tg} 0 - 4 \operatorname{tg}^2 0 = 0$$

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2$$

$$k_p = 0 + 0,25 \cdot \left(\frac{160}{9\,638}\right) + 0 \cdot \left(\frac{160}{9\,638}\right)^2$$

$$k_p = 0,0042$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 0,0042 \cdot \frac{6 \cdot 1,016 \cdot 10^6}{80 \cdot 160^2} = 0,013 \text{ MPa}$$

$$V_0 = 0,01 \text{ m}^3 \quad \text{referenční objem}$$

$$V = \frac{\beta \cdot \pi}{180} \cdot b \cdot (h_{ap}^2 + 2 \cdot r_{in} \cdot h_{ap})$$

$$V = \frac{77 \cdot \pi}{180} \cdot 0,08 \cdot (0,16^2 + 2 \cdot 9,638 \cdot 0,16) = 0,334 \text{ m}^3$$

$$V \leq \frac{2}{3} \cdot V_b = \frac{2}{3} \cdot (A \cdot s) = \frac{2}{3} \cdot (0,0128 \cdot 11,1) = 0,095 \text{ m}^3$$

$$0,334 \not\leq 0,095 \text{ m}^3 \gg V = 0,095 \text{ m}^3$$

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{0,095}\right)^{0,2} = 0,637$$

$$k_{dis} = 1,4$$

POSOUZENÍ

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 1,4 \cdot 0,637 \cdot 0,288 = 0,257 \text{ MPa}$$

$$0,013 < 0,250$$

VYHOVÍ

6.6.5.3 OHYB A OSOVÝ TAH

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{33,079 \cdot 10^3}{12\,800} = 2,58 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{1,233 \cdot 10^6}{3,41 \cdot 10^5} = 3,62 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,007 \cdot 10^6}{1,71 \cdot 10^5} = 0,041 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{2,58}{11,9} + \frac{3,62}{17,3} + 0,7 \cdot \frac{0,041}{17,3} \leq 1$$

$$0,428 < 1$$

VYHOVÍ

6.6.5.4 VZPĚR – Z ROVINY ŽEBRA – DOLNÍ ČÁST

$$L_{cr,z} = 1\,850 \text{ mm} \quad \gg \quad \text{vybočení je bráněno vaznicemi}$$

$$\gg \quad \text{přídavná příhradová vaznice v}$$

$$\text{dolní části žebra}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{1\,850}{23,1} = 80,1$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{80,1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9\,400}} = 1,29$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,29 - 0,3) + 1,29^2) = 1,38$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,38 + \sqrt{1,38^2 - 1,29^2}}$$

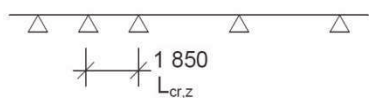
$$k_{c,z} = 0,535$$

POSOUZENÍ

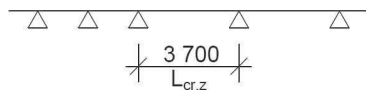
maximální moment M_y

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{39,619 \cdot 10^3}{12\,800} = 3,10 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{1,437 \cdot 10^6}{3,41 \cdot 10^5} = 4,21 \text{ MPa}$$



$$\beta_c = 0,1 \text{ (pro LLD)}$$



$$\beta_c = 0,1 \text{ (pro LLD)}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,002 \cdot 10^6}{1,71 \cdot 10^5} = 0,012 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{3,10}{0,535 \cdot 17,3} + 0,7 \cdot \frac{4,21}{17,3} + \frac{0,012}{17,3} \leq 1$$

$$0,506 < 1$$

VYHOVÍ

maximální tlak (dolní část)

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{40,858 \cdot 10^3}{12\,800} = 3,19 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{0,000 \cdot 10^6}{3,41 \cdot 10^5} = 0,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,000 \cdot 10^6}{1,71 \cdot 10^5} = 0,00 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{3,19}{0,535 \cdot 17,3} + 0,7 \cdot \frac{0,00}{17,3} + \frac{0,00}{17,3} \leq 1$$

$$0,345 < 1$$

VYHOVÍ

6.6.5.5 VZPĚR – Z ROVINY ŽEBRA – STŘEDNÍ ČÁST

$$L_{cr,z} = 3\,700 \text{ mm} \gg \text{vybočení je bráněno vaznicemi}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3\,700}{23,1} = 160$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{160}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9\,400}} = 2,57$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

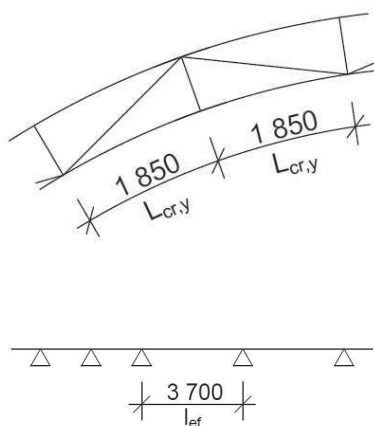
$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (2,57 - 0,3) + 2,57^2) = 3,91$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{3,91 + \sqrt{3,91^2 - 2,57^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,146$$

maximální tlak (střední část)

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{26,190 \cdot 10^3}{12\,800} = 2,05 \text{ MPa}$$



$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{0,537 \cdot 10^6}{3,41 \cdot 10^5} = 1,57 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,001 \cdot 10^6}{1,71 \cdot 10^5} = 0,006 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{2,05}{0,146 \cdot 17,3} + 0,7 \cdot \frac{1,57}{17,3} + \frac{0,006}{17,3} \leq 1$$

$$0,875 < 1$$

VYHOVÍ

6.6.5.6 VZPĚR – V ROVINĚ ŽEBRA

$L_{cr,y} = 1850 \text{ mm} \gg$ vybočení je bráněno svislicemi a diagonálami

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1850}{46,2} = 40,0 < \lambda_z = 80,1$$

\gg rozhodující je vzpěr z roviny žebra

6.6.5.7 KLOPENÍ

$l_{ef} = 3700 \text{ mm} \gg$ klopení je bráněno vaznicemi

$$t = b = 80 \text{ mm}$$

$$a = h = 160 \text{ mm}$$

$$I_{tor} = \left(1 - 0,63 \cdot \frac{t}{a}\right) \cdot \frac{t^3 \cdot a}{3} = \left(1 - 0,63 \cdot \frac{80}{160}\right) \cdot \frac{80^3 \cdot 160}{3}$$

$$I_{tor} = 1,87 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$G_{0,05} = 583 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{9400 \cdot 6,83 \cdot 10^6 \cdot 583 \cdot 1,87 \cdot 10^7}}{3700 \cdot 3,41 \cdot 10^5} = 65,9 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{65,9}} = 0,603 < 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

KLOPENÍ NENASTANE

6.6.5.8 SMYK

$$V_d = \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2} = \sqrt{0,002^2 + 4,112^2} = 4,112 \text{ kN}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{4,112 \cdot 10^3}{12800} = 0,482 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

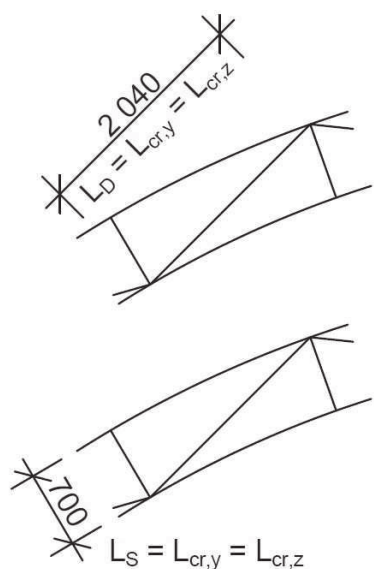
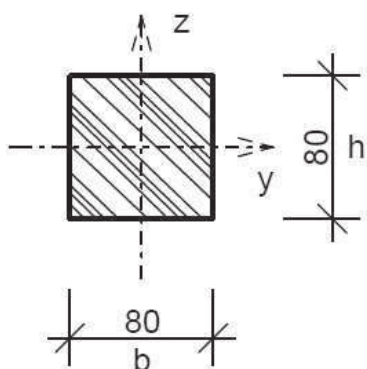
$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$0,482 < 1,94$$

VYHOVÍ

6.6.6 POSOUZENÍ – MSP

pozn. posouzeno v rámci celého žebra >> viz 6.5.6



6.7 DIAGONÁLY A SVISLICE ŽEBER

staticky budou působit jako nosníky osazené pomocí styčnickových plechů mezi horní a dolní pásy žeber

6.7.1 GEOMETRIE

| | | diagonála | svislice |
|-----------------------|-------|--|----------|
| šířka | b | 80 mm | |
| výška | h | 80 mm | |
| plocha průřezu | A | 6 400 mm ² | |
| momenty setrvačnosti | I_y | 3,41 · 10 ⁶ mm ⁴ | |
| | I_z | 3,41 · 10 ⁶ mm ⁴ | |
| průřezové moduly | W_y | 8,53 · 10 ⁴ mm ³ | |
| | W_z | 8,53 · 10 ⁴ mm ³ | |
| poloměry setrvačnosti | i_y | 23,1 mm | |
| | i_z | 23,1 mm | |
| rozpětí | L | 2 040 mm | 700 mm |

6.7.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|---------------------------------------|---------------------|
| rostlé dřevo | C18 |
| třída provozu | 2 |
| třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| hodnota k_{mod} | 0,90 |
| souč. vlastnosti materiálu γ_M | 1,30 |

| | |
|---------------------------|--|
| návrhová hodnota pevnosti | $f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$ |
|---------------------------|--|

| | |
|----------------------------------|------------------------------|
| charakteristická pevnost v ohybu | $f_{m,k} = 18,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v ohybu | $f_{m,d} = 12,5 \text{ MPa}$ |

| | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| charakteristická pevnost v tahu | $f_{t,0,k} = 11,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tahu | $f_{t,0,d} = 7,6 \text{ MPa}$ |

| | |
|----------------------------------|--------------------------------|
| charakteristická pevnost v tlaku | $f_{c,0,k} = 18,0 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tlaku | $f_{c,0,d} = 12,5 \text{ MPa}$ |

| | |
|-----------------------------------|------------------------------|
| charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 3,40 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 2,35 \text{ MPa}$ |

| | |
|------------------|-----------------------------------|
| moduly pružnosti | $E_{0,mean} = 9\,000 \text{ MPa}$ |
| | $E_{0,05} = 6\,000 \text{ MPa}$ |

| | |
|---------|-----------------------------|
| hustota | $\rho = 320 \text{ kg/m}^3$ |
|---------|-----------------------------|

6.7.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

6.7.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM >> příloha F.3.6

$$V_d = \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2}$$

| | návrhové vnitřní síly – maximální tlak | | | | | |
|---|--|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| D | - 22,900 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 |
| S | - 12,939 | 0,000 | 0,010 | 0,010 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové vnitřní síly – maximální tah | | | | | |
|---|---------------------------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| D | 19,450 | 0,000 | - 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 |
| S | 20,512 | 0,000 | - 0,011 | 0,011 | 0,000 | 0,000 |

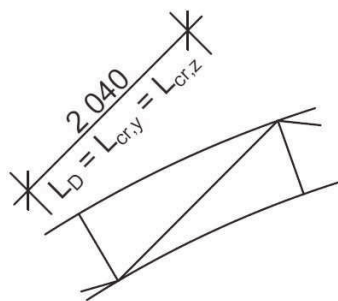
| | návrhové vnitřní síly – maximální posouvající síla | | | | | |
|---|--|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| D | - 0,111 | 0,000 | 0,033 | 0,033 | 0,000 | 0,000 |
| S | 20,512 | 0,000 | - 0,011 | 0,011 | 0,000 | 0,000 |

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \quad \tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}$$

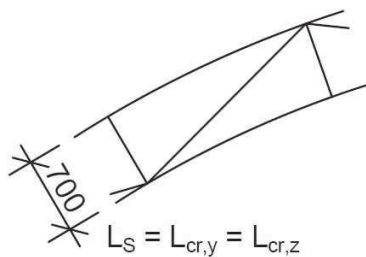
| | návrhové napětí – maximální tlak | | | |
|---|----------------------------------|----------|------------------|------------------|
| | $\sigma_{c,0,d}$ | τ_d | $\sigma_{m,y,d}$ | $\sigma_{m,z,d}$ |
| D | - 3,578 | 0,001 | 0,000 | 0,000 |
| S | - 2,022 | 0,002 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové napětí – maximální tah | | | |
|---|---------------------------------|----------|------------------|------------------|
| | $\sigma_{t,0,d}$ | τ_d | $\sigma_{m,y,d}$ | $\sigma_{m,z,d}$ |
| D | 3,039 | 0,001 | 0,000 | 0,000 |
| S | 3,205 | 0,003 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové napětí – maximální posouvající síla | | | |
|---|--|--------------|------------------|------------------|
| | $\sigma_{c,0,d}$ | τ_d | $\sigma_{m,y,d}$ | $\sigma_{m,z,d}$ |
| D | - 0,017 | 0,008 | 0,000 | 0,000 |
| S | 3,205 | 0,003 | 0,000 | 0,000 |



$\beta_c = 0,2$ (pro rostlé dřevo)



$\beta_c = 0,2$ (pro rostlé dřevo)

6.7.5 POSOUZENÍ – MSÚ

6.7.5.1 TAH ROVNOBĚŽNĚ S VLÁKNY

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1 \quad (1)$$

6.7.5.2 VZPĚR – DIAGONÁLA

$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

$$L_{cr,yz} = L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_D \cdot \beta = 2\,040 \cdot 1,0 = 2\,040 \text{ mm}$$

$$\lambda_{yz} = \frac{L_{cr,yz}}{i_{yz}} = \frac{2\,040}{23,1} = 88,3$$

$$\lambda_{rel,yz} = \frac{\lambda_{yz}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{88,3}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{18}{6\,000}} = 1,54$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,yz} - 0,3) + \lambda_{rel,yz}^2)$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,54 - 0,3) + 1,54^2) = 1,81$$

$$k_{c,yz} = \frac{1}{k_{yz} + \sqrt{k_{yz}^2 - \lambda_{rel,yz}^2}} = \frac{1}{1,81 + \sqrt{1,81^2 - 1,54^2}}$$

$$k_{c,yz} = 0,362$$

6.7.5.3 VZPĚR – SVISLICE

$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

$$L_{cr,yz} = L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_S \cdot \beta = 700 \cdot 1,0 = 700 \text{ mm}$$

$$\lambda_{yz} = \frac{L_{cr,yz}}{i_{yz}} = \frac{700}{23,1} = 30,3$$

$$\lambda_{rel,yz} = \frac{\lambda_{yz}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{30,3}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{18}{6\,000}} = 0,528$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,yz} - 0,3) + \lambda_{rel,yz}^2)$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (0,528 - 0,3) + 0,528^2) = 0,662$$

$$k_{c,yz} = \frac{1}{k_{yz} + \sqrt{k_{yz}^2 - \lambda_{rel,yz}^2}} = \frac{1}{0,662 + \sqrt{0,662^2 - 0,528^2}}$$

$$k_{c,yz} = 0,942$$

POSOUZENÍ

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (2)$$

6.7.5.4 SMYK

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (3)$$

| | podmínky | | |
|---|----------|-------|-------|
| | (1) | (2) | (3) |
| D | 0,400 | 0,791 | 0,003 |
| S | 0,422 | 0,172 | 0,001 |

VYHOVÍ

6.7.5.5 KLOPENÍ

$$\sigma_{m,crit,D} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 80^2}{80 \cdot 2\,040} \cdot 6\,000 = 184 \text{ MPa}$$

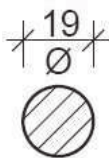
$$\sigma_{m,crit,S} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 80^2}{80 \cdot 700} \cdot 6\,000 = 535 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,D}}} = \sqrt{\frac{18}{184}} = 0,313 < 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

KLOPENÍ NENASTANE

6.7.6 POSOUZENÍ – MSP

pozn. posouzeno v rámci celého žebra >> viz 6.5.6



6.8 ZTUŽIDLA

jsou tvořena diagonálními ocelovými táhly Macalloy 460 o průměru $\varnothing 19$ mm osazenými v místech vaznic pomocí koncovek FA20 a čepu PA20 systému Macalloy 460 na plechy připevněné na žebra

6.8.1 GEOMETRIE

průměr táhla $d = 19 \text{ mm}$
 délka táhla $L = 4\,238 \text{ mm}$

6.8.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

ocel $S460$
 mez kluzu $f_y = 460 \text{ MPa}$
 mez pevnosti $f_u = 610 \text{ MPa}$

6.8.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

6.8.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM >> příloha F.3.10
 maximální tahová síla $N_{Ed} = 47,474 \text{ kN}$
 (ztužidlo K2 – KV25)

6.8.5 STABILIZUJÍCÍ SÍLY

pozn. táhla jsou připevněna k horním pásům žeber, kde u nejzatíženějších táhel převládají tahové síly
 >> stabilizující síly nevznikají

6.8.6 POSOUZENÍ – MSÚ

6.8.6.1 TAH

minimální mez kluzu táhla $N_{t,Rd} = 108,000 \text{ kN}$ viz 7.2

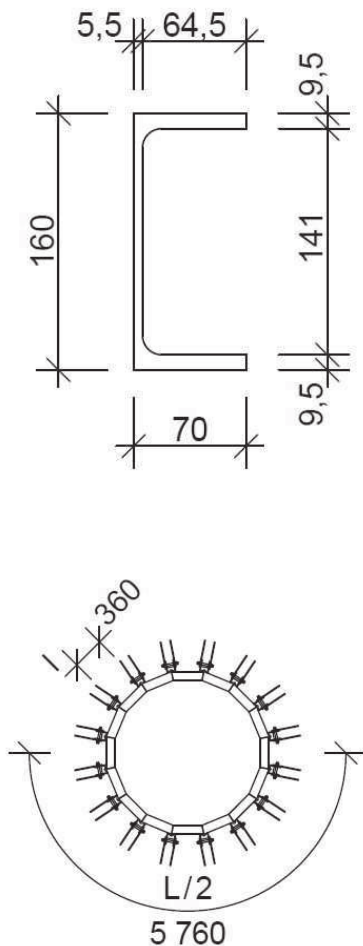
POSOUZENÍ

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{47,474}{108,000} \leq 1,0$$

$$0,440 < 1$$

VYHOVÍ



6.9 PRSTENEC

je tvořen polygonálně lomeným obloukem z válcovaných profilů UPE 160

6.9.1 GEOMETRIE

| | |
|---------------------------|--|
| válcovaný profil | UPE 160 |
| výška | $h = 160 \text{ mm}$ |
| šířka | $b = 70 \text{ mm}$ |
| výška stojiny | $h_w = 141 \text{ mm}$ |
| tloušťka stojiny | $t_w = 5,5 \text{ mm}$ |
| tloušťka pásnice | $t_f = 9,5 \text{ mm}$ |
| poloměr zaoblení | $r = 12 \text{ mm}$ |
| plocha průřezu | $A = 2\,170 \text{ mm}^2$ |
| smyková plocha | $A_{vy} = A - h_w \cdot t_w = 1\,395 \text{ mm}^2$ |
| | $A_{vz} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f$ |
| | $A_{vz} = 1\,006 \text{ mm}^2$ |
| momenty setrvačnosti | $I_y = 9,11 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$ |
| | $I_z = 1,07 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$ |
| průřezové moduly | $W_{pl,y} = 1,32 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ |
| | $W_{pl,z} = 4,15 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$ |
| poloměry setrvačnosti | $i_y = 64,8 \text{ mm}$ |
| | $i_z = 22,2 \text{ mm}$ |
| délka prstence | $L = 5\,760 \text{ mm}$ |
| délka prstence mezi žebry | $l = 360 \text{ mm}$ |

6.9.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|--------------|-------------------------|
| ocel | S235 |
| mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |

6.9.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

6.9.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM

>>

příloha F.3.11

| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | M _{y,d} | M _{z,d} |
|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| maximální tlak | - 18,751 | 0,058 | 0,572 | - 0,048 | 0,016 |
| maximální tah | 5,747 | - 0,022 | - 0,093 | - 0,035 | - 4,067 |
| maximální posouvající síla Vy | 0,901 | - 8,715 | 0,063 | 0,033 | - 1,428 |
| maximální posouvající síla Vz | - 8,369 | 5,950 | - 0,826 | - 0,128 | 0,559 |
| maximální moment My | - 1,837 | - 8,367 | 0,412 | 0,167 | 4,369 |
| maximální moment Mz | - 2,270 | 2,329 | - 0,180 | 0,020 | 4,622 |

6.9.5 POSOUZENÍ – MSÚ

6.9.5.1 OHYB A OSOVÁ SÍLA

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2\,170 \cdot 235}{1,0} = 509,9 \text{ KN}$$

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,32 \cdot 10^5 \cdot 235}{1,0} = 31,02 \text{ KNm}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,15 \cdot 10^4 \cdot 235}{1,0} = 9,75 \text{ KNm}$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot [1 - (N_{Ed} / N_{pl,Rd})^2]$$

$$M_{N,y,Rd} = 31,02 \cdot [1 - (2,270 / 509,9)^2] = 31,02 \text{ KNm}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot [1 - (N_{Ed} / N_{pl,Rd})^2]$$

$$M_{N,z,Rd} = 9,75 \cdot [1 - (2,270 / 509,9)^2] = 9,75 \text{ KNm}$$

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 2,270 / 509,9 = 0,004$$

$$\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot n^2} = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot 0,004^2} = 1,66$$

POSOUZENÍ

maximální moment M_y

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

$$\left[\frac{0,167}{31,02} \right]^{1,66} + \left[\frac{4,369}{9,75} \right]^{1,66} \leq 1$$

$$0,264 < 1$$

VYHOVÍ

maximální moment M_z

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

$$\left[\frac{0,020}{31,02} \right]^{1,66} + \left[\frac{4,622}{9,75} \right]^{1,66} \leq 1$$

$$0,290 < 1$$

VYHOVÍ

6.9.5.2 VZPĚŘ

$$\beta = 1,0 \quad \gg \quad \text{prosté podepření}$$

$$L_{cr,y} = \frac{L}{2} \cdot \beta = \frac{5\,760}{2} \cdot 1,0 = 2\,880 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = l \cdot \beta = 360 \cdot 1,0 = 360 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210\,000}{235}} = 93,9$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{2\,880}{64,8} \cdot \frac{1}{93,3} = 0,476$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{360}{22,2} \cdot \frac{1}{93,3} = 0,174 < 0,2 \gg \text{vzpěr nenastane}$$

$$\alpha = 0,49 \text{ (vzpěrná křivka c)}$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2)$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (0,476 - 0,2) + 0,476^2) = 0,681$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,681 + \sqrt{0,681^2 - 0,476^2}}$$

$$\chi_y = 0,856$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 1,0 = 1,0 \geq 0,4$$

$$C_{my} = 1,0$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 1,0 = 1,0 \geq 0,4$$

$$C_{mz} = 1,0$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 1,0 = 1,0 \geq 0,4$$

$$C_{mLT} = 1,0$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 2\,170 \cdot 235 = 509,9 \text{ KN}$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 1,0 \cdot \left(1 + (0,476 - 0,2) \cdot \frac{2,270}{0,856 \cdot 509,9 / 1,0} \right)$$

$$k_{yy} = 1,001$$

$$k_{yy} \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} \leq 1,0 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{2,270}{0,856 \cdot 509,9 / 1,0} \right)$$

$$k_{yy} \leq 1,004$$

VYHOVÍ

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + (\lambda_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,0 \cdot \left(1 + (0,174 - 0,2) \cdot \frac{2,270}{1,0 \cdot 509,9 / 1,0} \right)$$

$$k_{zz} = 1,0$$

$$k_{zz} \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} \leq 1,0 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{2,270}{1,0 \cdot 509,9 / 1,0} \right)$$

$$k_{zz} \leq 1,004$$

VYHOVÍ

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,0 = 0,6$$

$$k_{zy} = 0,6 + \lambda_z \leq 1 - \frac{0,1 \cdot \lambda_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}}$$

$$k_{zy} = 0,6 + 0,174 \leq 1 - \frac{0,1 \cdot 0,174}{(1,0 - 0,25)} \cdot \frac{2,270}{1,0 \cdot 509,9 / 1,0}$$

$$k_{zy} = 0,774 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

$$k_{zy} = 0,774$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,32 \cdot 10^5 \cdot 235 = 31,02 \text{ KNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 4,15 \cdot 10^4 \cdot 235 = 9,75 \text{ KNm}$$

POSOUZENÍ

maximální moment M_y

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{1,837}{\frac{0,856 \cdot 509,9}{1,0}} + 1,001 \cdot \frac{0,167 + 0}{\frac{1,0 \cdot 31,02}{1,0}} + 0,6 \cdot \frac{4,369 + 0}{\frac{9,75}{1,0}} \leq 1$$

$$0,278 < 1$$

VYHOVÍ

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{1,837}{\frac{1,0 \cdot 509,9}{1,0}} + 0,774 \cdot \frac{0,167 + 0}{\frac{1,0 \cdot 31,02}{1,0}} + 1,0 \cdot \frac{4,369 + 0}{\frac{9,75}{1,0}} \leq 1$$

$$0,456 < 1$$

VYHOVÍ

maximální moment M_z

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{2,270}{\frac{0,856 \cdot 509,9}{1,0}} + 1,001 \cdot \frac{0,020 + 0}{\frac{1,0 \cdot 31,02}{1,0}} + 0,6 \cdot \frac{4,622 + 0}{\frac{9,75}{1,0}} \leq 1$$

$$0,290 < 1$$

VYHOVÍ

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{2,270}{\frac{1,0 \cdot 509,9}{1,0}} + 0,774 \cdot \frac{0,020 + 0}{\frac{1,0 \cdot 31,02}{1,0}} + 1,0 \cdot \frac{4,622 + 0}{\frac{9,75}{1,0}} \leq 1$$

$$0,479 < 1$$

VYHOVÍ

6.9.5.3 SMYK

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{vy} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{1\,395 \cdot (235 / \sqrt{3})}{1,0} = 189,27 \text{ KN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{1\,006 \cdot (235 / \sqrt{3})}{1,0} = 136,49 \text{ KN}$$

POSOUZENÍ

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,y,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{8,715}{189,27} \leq 1$$

$$0,046 \leq 1$$

$$0,046 \leq 0,5 \gg \text{zanedbání vlivu na únosnost v ohybu}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{0,826}{136,49} \leq 1$$

$$0,006 \leq 1$$

$$0,006 \leq 0,5 \gg \text{zanedbání vlivu na únosnost v ohybu}$$

7 PŘÍLOHY



DYAS Multiplex

Jsou zdravotně nezávadné a vyhovují třídě úniku formaldehydu A (E 1) dle ČSN EN 1084 Překližované desky. Třídy úniku formaldehydu podle metody plynové analýzy.

Specifičnost desek Multiplex je v tloušťce vnitřních dýh použitých k výrobě. U Multiplexu se jedná o dýhy s tloušťkou 2,2 mm a 2,6 mm. Toto následně ovlivňuje i vlastnosti finálních desek. Díky většímu obsahu „masivního“ dřeva v podobě silnějších vnitřních dýh a méně lepidla jsou pak vlastnosti bližší masivnímu buku.

Aplikace:

Pro své vynikající pevnostní vlastnosti jsou desky Multiplex používány především ve strojírenství, stavebnictví, automobilovém průmyslu, transportu atd.

Tloušťka:

15, 18, 20, 25, 30, 35, 40, 50 mm
(jiné po dohodě výrobce s odběratelem)

Lepení:

Třída lepení 3 (AW 100) - dle ČSN EN 314-2
Jsou určeny pro nechráněné venkovní prostředí dle ČSN EN 636.

Třída lepení 2 (A 100) - ČSN EN 314-2
Jsou určeny pro chráněné venkovní prostředí dle ČSN EN 636.

Třída lepení 1 (IF 20) - ČSN EN 314-2
Jsou určeny pro vnitřní použití dle ČSN EN 636

Formát:

2 200 x 1 250 mm
2 500 x 1 250 mm
2 500 x 1 500 mm
(podélné nebo příčné provedení, jiné formáty dle poptávky zákazníka)

Jakost:

B, BB, CP, C, D
(kombinace jakostí dle poptávky zákazníka)

Broušení:

Základní broušení desek se provádí brusným pásem se zrnitostí 60

Vlhkost:

6% až 12% (v době dodávky)

| Tloušťka | Počet vrstev | Orientační objemová hmotnost | Tloušťková tolerance | Pevnost v ohybu (směr vláken povrchové dýhy) | |
|----------|--------------|------------------------------------|-------------------------|---|------------------------|
| | | (kg/m3) | (mm) | podélní | příční |
| 15 | 7x | 760 | +0,5/-0,5 | 60,0 N/mm ² | 50,0 N/mm ² |
| 18 | 9x | | | | |
| 20 | 9x | | | | |
| 25 | 13x | 750 | +0,8/-0,8 | | |
| 30 | 15x | | | | |
| 35 | 17x | | | | |
| 40 | 19x | 720 | +1,0/-1,2 | | |
| 45 | 23x | | | | |
| 50 | 23x | | | | |

Systém konstrukčních táhel Macalloy 460

Ochrana proti korozi

Ve většině případů vyžaduje systém Macalloy 460 antikorozi ochranu. Druh ochrany se řídí typem korozního prostředí, jemuž je systém vystaven, požadavky na vzhled a finální možnosti. Mezi nejběžnější systémy ochrany, které jsou k dispozici, patří nátěry a galvanizace.

K zajištění spojitosti protikorozi ochrany po celém prvku je nutné věnovat specifickou péči koncovým spojům a spojům vytvořených spojkami. Proto se doporučuje utěsnit veškeré kónické pojistné matice vhodným těsnícím materiálem. Přesná specifikace je k dispozici na vyžádání.

Únava

Válcované závitů zaručují minimální oslabení průřezové plochy tyče. Navíc při jejich výrobě (na rozdíl od závitů řezaných) nedochází k narušení materiálu vruby a tak vykazují výrobky Macalloy vynikající odolnost proti únavě.

Schválení

Systém Macalloy 460 byl testován Technickým zkušebním ústavem stavebním Praha, s.p. a schválen v souladu s nařízením vlády č. 163/2002 Sb pro použití v České republice pod č. 010-010789.

Systém vyhovuje normám ČSN 73 1401, ČSN ENV 1993-1-1 "Navrhování ocelových konstrukcí" a ČSN ENV 1090-1 "Provádění ocelových konstrukcí".

Systém konstrukčních táhel Macalloy S460 z nerezové oceli

Macalloy S460 představuje konstrukční systém táhel v provedení austenitická/duplexní* nerezová ocel. Stejně jako systém Macalloy 460 má minimální mez kluzu 460 MPa. Standardně je dodáván v průměrech M10 až M56, ale jako zvláštní položku ho společnost Macalloy dodá i ve větších průměrech (dosud největší průměr byl M76).

*Tělesa sad čepů nad SPA24 mohou být z martenzitické nerezové oceli.

Tyč

Mechanické vlastnosti nerezové tyče Macalloy S460 jsou následující:

| | |
|-------------------|---------------------------|
| mez kluzu | 460 MPa |
| mez pevnosti | 610 MPa |
| minimální tažnost | 15 % |
| modul pružnosti | 190 x 10 ³ MPa |

Použitá austenitická nerezová ocel má vynikající vlastnosti vrubové houževnatosti. V případě potřeby může být systém Macalloy S460 vyroben na zakázku také z nerezového materiálu s vyšší pevností, po přidání odpovídajících přísad.

Tyče jsou standardně dodávány v délkách do 7,5 m pro všechny průměry.

Komponenty

S výjimkou kónické pojistné matice jsou veškeré nerezové komponenty rozměrově stejné jako v provedení se standardní ocelí.

Styčnickové plechy pro nerez S460

Vidlicovou koncovku lze připojovat buď k styčnickovým plechům z oceli, nebo z nerezové oceli za použití materiálu s pevností odpovídající oceli S355.

Jestliže jsou použity styčnickové plechy z uhlíkové oceli, doporučujeme použít izolační rukávy a podložky pro zamezení bimetalické koroze. V takových případech by měly být dodrženy rozměry podle styčnickového plechu B v tabulce 2. Při vyžádání ceny si také laskavě vyberte vhodné izolační rukávy a podložky.

Konečná úprava

Veškeré nerezové tyče a komponenty mají povrch Grit 220 (N3), leštěná úprava. V případě požadavku je možná i jiná povrchová úprava.

Napínání pomocí zařízení Macalloy TechnoTensioner

Společnost Macalloy byla vždy na vysoké technické úrovni v oblasti konstrukčních systémů předpjatých táhel a byla průkopníkem ve vývoji metod jejich předpínání. Její pracovníci si již dlouho uvědomovali potřebu měření velikosti předpětí v táhle a proto bylo vyvinuto pro praktické použití patentované zařízení Macalloy TechnoTensioner.

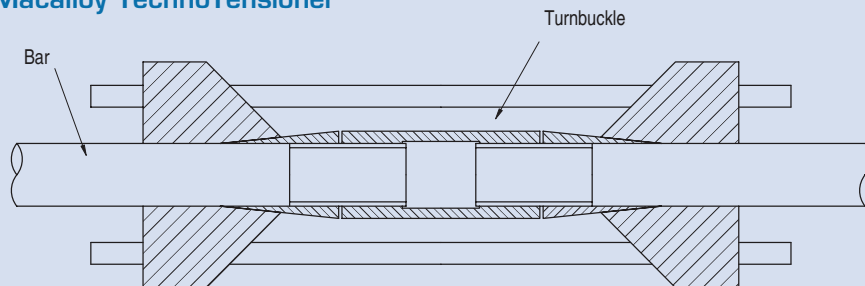
Hydraulická napínací jednotka může být umístěna na standardní napínákový spoj a je připevněna na kónickou pojistnou matici po obou stranách napínáku. Pomocí zařízení TechnoTensioner je pak do táhla vneseno předpětí, měřitelné s přesností $\pm 2,5\%$.

Zařízení TechnoTensioner je možno v případě potřeby pronajmout. Nutnou podmínkou jeho použití je ale dozor specialisty, vyškoleného přímo firmou Macalloy.



Zařízení TechnoTensioner na londýnském mostě Millennium Bridge, VB

Macalloy TechnoTensioner



Předpínací systém byl původně vyvinut pro projekt 88 Wood Street v Londýně v roce 1997. Od té doby byl úspěšně použit na četných projektech po celém světě např. u staveb:

- Multifunkční aréna Sazka v Praze
- londýnský most Millennium Bridge, VB
- mnichovské letištní středisko, Německo
- Terminal 2 mnichovského letiště, Německo
- most ve Wroclawě, Polsko
- budova Rady Tsing Yi, Hong Kong

- hlavní tribuna Newmarket, VK
- stadion Millennium Stadium, Cardiff, VB
- nádraží Flintholm, Dánsko
- pěší most v Doreneze, Švýcarsko
- pěší most River Tees, Stockton, VB
- velký dvůr Arundel, Londýn, VB
- Mid City Place, Londýn, VB
- centrum Deansgate Centre, Manchester, VB

Důležitá poznámka: pro nerezové systémy by TechnoTensioner měl být používán pouze po konzultaci se společností Macalloy.

Expo 2000 Brucken, Hannover

Foto:
Jurgen Schmidt

Architekt:
gmp, von Gerkan, Marg & Partner

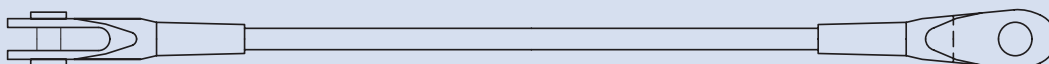
Projektant:
Schlaich, Bergermann & Partner

Dodavatel ocelové konstrukce:
Noell Stahl- und Maschinenbau GmbH



Tabulka 1: Vlastnosti táhel Macalloy ve standardním provedení a v nerez provedení

| Závít | jednotka | M10 | M12 | M16 | M20 | M24 | M30 | M36 | M42 | M48 | M56 | M64 | M76 | M85 | M90* | M100* |
|------------------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Průměr táhla | mm | 10 | 11 | 15 | 19 | 22 | 28 | 34 | 39 | 45 | 52 | 60 | 72 | 82 | 87 | 97 |
| Minimální mez kluzu | kN | 25 | 36 | 69 | 108 | 156 | 249 | 364 | 501 | 660 | 912 | 1204 | 1756 | 2239 | 2533 | 3172 |
| Minimální mez pevnosti | kN | 33 | 48 | 91 | 143 | 207 | 330 | 483 | 665 | 875 | 1209 | 1596 | 2329 | 2969 | 3358 | 4206 |
| Hmotnost táhla | Kg/m | 0,50 | 0,75 | 1,40 | 2,20 | 3,00 | 4,80 | 7,10 | 9,40 | 12,50 | 16,70 | 22,20 | 32,00 | 41,50 | 46,70 | 58,00 |





VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

C STATICKÝ VÝPOČET - HALA

STRUCTURAL DESIGN REPORT - HALL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radek Vojta

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. STANISLAV BUCHTA, Ph.D.

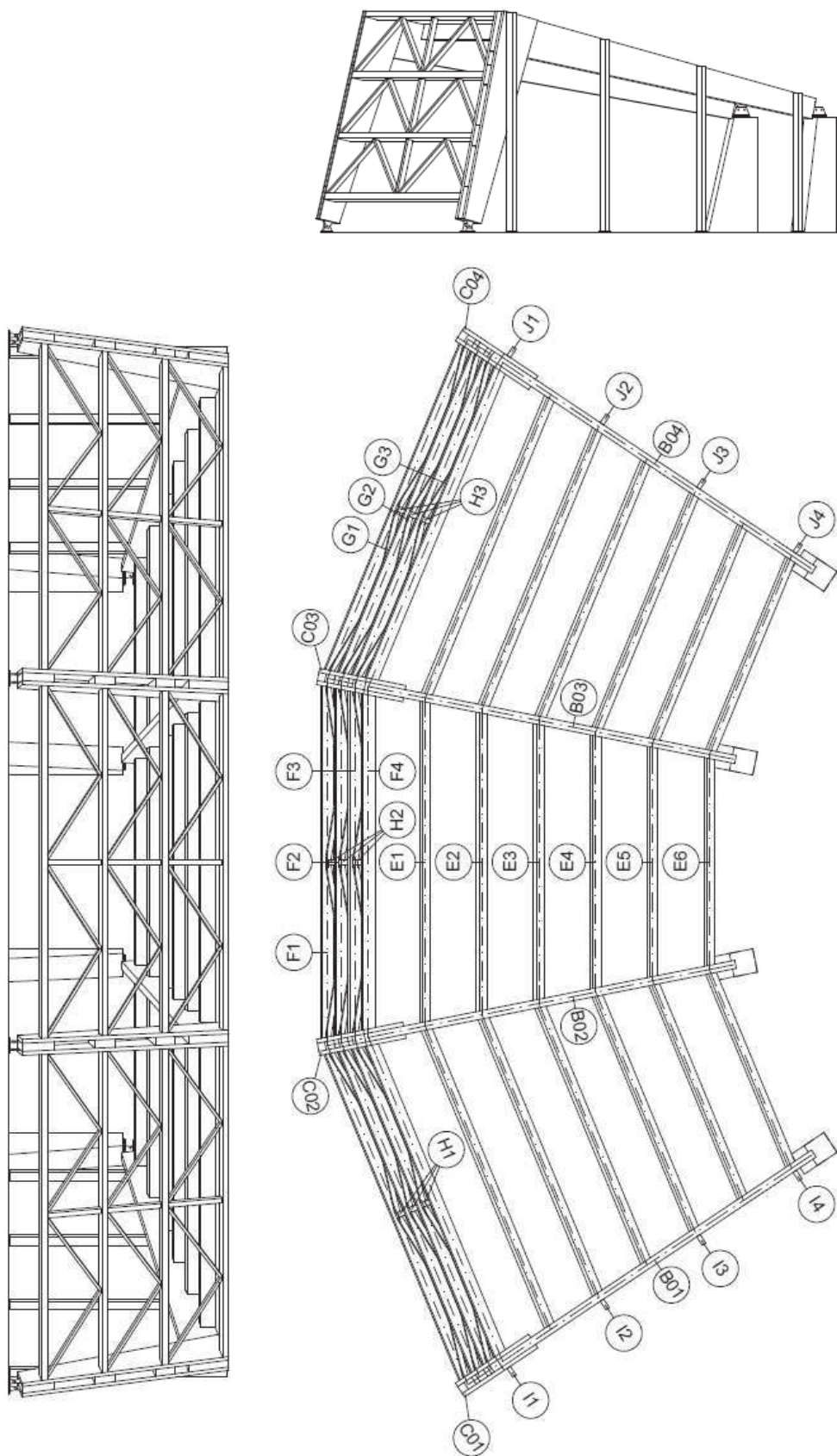
BRNO 2017

OBSAH

| | | |
|-------|------------------------------------|----|
| 1 | GEOMETRIE KONSTRUKCE | 3 |
| 2 | ZATÍŽENÍ..... | 4 |
| 2.1 | STÁLÉ ZATÍŽENÍ | 4 |
| 2.1.1 | VLASTNÍ TÍHA..... | 4 |
| 2.1.2 | STŘEŠNÍ PLÁŠŤ | 4 |
| 2.1.3 | PODHLÉD | 4 |
| 2.1.4 | SKLENĚNÁ FASÁDA | 5 |
| 2.2 | PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ..... | 5 |
| 2.2.1 | SNÍH..... | 5 |
| 2.2.2 | VÍTR..... | 6 |
| 2.2.3 | UŽITNÉ ZATÍŽENÍ..... | 13 |
| 3 | KOMBINACE ZATÍŽENÍ..... | 14 |
| 3.1 | ZATĚŽOVACÍ STAVY..... | 14 |
| 3.2 | MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI | 14 |
| 3.3 | MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI | 15 |
| 4 | POSOUZENÍ PRVKŮ | 17 |
| 4.1 | STŘEŠNÍ PLÁŠŤ | 17 |
| 4.1.1 | GEOMETRIE | 17 |
| 4.1.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 17 |
| 4.1.3 | ZATÍŽENÍ..... | 18 |
| 4.1.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 18 |
| 4.1.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 19 |
| 4.1.6 | POSOUZENÍ – MSP | 20 |
| 4.2 | STŘEŠNÍ VAZNICE | 22 |
| 4.2.1 | GEOMETRIE | 22 |
| 4.2.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 22 |
| 4.2.3 | ZATÍŽENÍ..... | 23 |
| 4.2.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 23 |
| 4.2.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 24 |
| 4.2.6 | POSOUZENÍ – MSP – VAZNICE E1 | 26 |
| 4.2.7 | POSOUZENÍ – MSP – VAZNICE E4 | 28 |
| 4.3 | STĚNOVÉ VAZNICE | 30 |
| 4.3.1 | GEOMETRIE | 30 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.3.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 30 |
| 4.3.3 | ZATÍŽENÍ | 31 |
| 4.3.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 31 |
| 4.3.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 32 |
| 4.3.6 | POSOUZENÍ – MSP | 35 |
| 4.4 | STĚNOVÉ DIAGONÁLY A SVISLICE | 36 |
| 4.4.1 | GEOMETRIE | 36 |
| 4.4.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 36 |
| 4.4.3 | ZATÍŽENÍ | 37 |
| 4.4.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 37 |
| 4.4.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 38 |
| 4.4.6 | POSOUZENÍ – MSP | 39 |
| 4.5 | STŘEŠNÍ ŽEBRA | 40 |
| 4.5.1 | GEOMETRIE | 40 |
| 4.5.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 40 |
| 4.5.3 | ZATÍŽENÍ | 41 |
| 4.5.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 41 |
| 4.5.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 41 |
| 4.5.6 | POSOUZENÍ – MSP | 47 |
| 4.6 | STĚNOVÁ ŽEBRA | 48 |
| 4.6.1 | GEOMETRIE | 48 |
| 4.6.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 48 |
| 4.6.3 | ZATÍŽENÍ | 49 |
| 4.6.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 49 |
| 4.6.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 49 |
| 4.6.6 | POSOUZENÍ – MSP | 55 |
| 4.7 | SLOUPY | 56 |
| 4.7.1 | GEOMETRIE | 56 |
| 4.7.2 | MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY | 56 |
| 4.7.3 | ZATÍŽENÍ | 57 |
| 4.7.4 | VNITŘNÍ SÍLY | 57 |
| 4.7.5 | POSOUZENÍ – MSÚ | 58 |
| 4.7.6 | POSOUZENÍ – MSP | 60 |
| 5 | PŘÍLOHY | 61 |
| 5.1 | PŘEKLIŽOVANÉ DESKY DYAS MULTIPLEX | 62 |

1 GEOMETRIE KONSTRUKCE



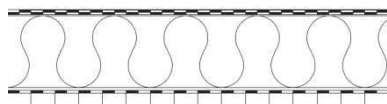
2 ZATÍŽENÍ

2.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ

2.1.1 VLASTNÍ TÍHA

$g_{0,k}$ – generováno softwarem RFEM

2.1.2 STŘEŠNÍ PLÁŠŤ



skladba střešního pláště

| vrstva | objemová tíha [KN/m ³] | tloušťka [mm] | plošná tíha [KN/m ²] |
|--|---------------------------------------|------------------|-------------------------------------|
| titanzinkový plech | 72 | 0,8 | 0,058 |
| oxidovaný asf. pás DEK R13 | | 1,3 | 0,014 |
| modifikovaný asf. pás ELASTEK 40 SM | | 4 | 0,046 |
| zátěr horkým asfaltem | | 1,8 | 0,020 |
| pěnové sklo FOAMGLAS T4 | 1,2 | 150 | 0,18 |
| zátěr horkým asfaltem | | 6,4 | 0,070 |
| oxidovaný asf. pás DEK R13 | | 1,3 | 0,014 |
| překližková deska | 7,5 | 30 | 0,225 |
| CELKEM | | 195,6 | 0,627 |

| číslo vaznice | ZŠ [mm] | $g_{1,k}$ [KN/m ²] | $g_{1,k}'$ [KN/m] |
|------------------|------------|-----------------------------------|----------------------|
| F1 | 1 040 | 0,627 | 0,652 |
| F2 – F3 | 1 200 | 0,627 | 0,752 |
| F4a | 660 | 0,627 | 0,414 |
| F4b | 695 | 0,627 | 0,436 |
| E1 – E5 | 1 150 | 0,627 | 0,721 |
| E6 | 1 055 | 0,627 | 0,661 |

2.1.3 PODHLED

sádrokartonový podhled

odhad 20 kg/m²

| číslo vaznice | ZŠ [mm] | $g_{2,k}$ [KN/m ²] | $g_{2,k}'$ [KN/m] |
|---------------|---------|--------------------------------|-------------------|
| F1 | 1 040 | 0,200 | 0,208 |
| F2 – F3 | 1 200 | 0,200 | 0,240 |
| F4a | 660 | 0,200 | 0,132 |
| F4b | 695 | 0,200 | 0,139 |
| E1 – E5 | 1 150 | 0,200 | 0,230 |
| E6 | 1 055 | 0,200 | 0,211 |

2.1.4 SKLENĚNÁ FASÁDA

| vrstva | objemová tíha [KN/m ³] | tloušťka [mm] | plošná tíha [KN/m ²] |
|--------------------|------------------------------------|---------------|----------------------------------|
| 2x skleněná tabule | 25 | 2 x 10 | 0,500 |
| bodové uchycení | | | 0,100 |
| CELKEM | | 36,0 | 0,600 |

| číslo sloupu | ZŠ [mm] | $g_{3,k}$ [KN/m ²] | $g_{3,k}'$ [KN/m] |
|--------------|---------|--------------------------------|-------------------|
| I1, J1 | 1 700 | 0,600 | 1,002 |
| I2, J2 | 2 260 | 0,600 | 1,356 |
| I3, J3 | 2 280 | 0,600 | 1,368 |
| I4, J4 | 1 500 | 0,600 | 0,972 |

2.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

2.2.1 SNÍH

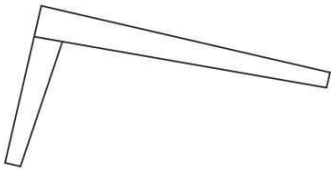
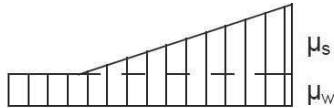
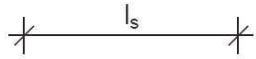
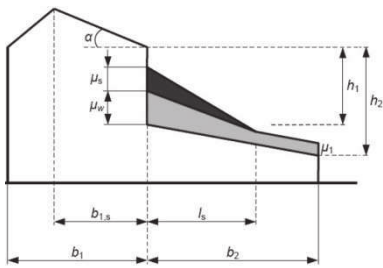
lokalita Brno – II. sněhová oblast $s_k = 1,0 \text{ KN/m}^2$
 součinitel expozice $C_e = 1,0$
 tepelný součinitel $C_t = 1,0$

$$s_i = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = \mu_i \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,0 \mu_i \text{ KN/m}^2$$

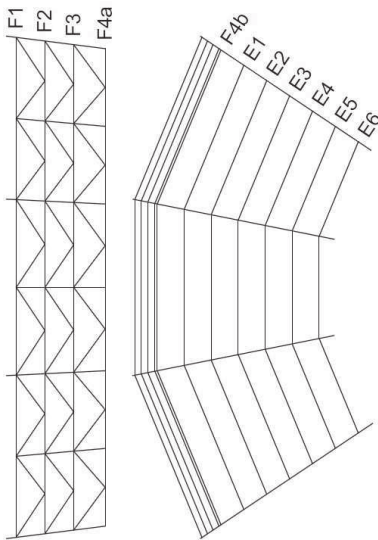
2.2.1.1 SNÍH ROVNOMĚRNÝ – ZS2

tvarový součinitel $\mu_1 = 0,8$

$$s_1 = s_i \cdot \mu_1 = 1,0 \cdot 0,8 = 0,8 \text{ KN/m}^2$$



| Sněhová oblast | I – IV | V – VI | VII – VIII |
|----------------|--------|--------|------------|
| Max μ_w | 2,0 | 3,0 | 4,0 |



2.2.1.2 SNÍH NAVÁTÝ – ZS3

rozdíl výšek obou střech

$$h = h_1 = 2,715 \text{ m}$$

délka návěje

$$l_s = 2 \cdot h = 5,430 \text{ m}$$

rozpětí kopule

$$b_1 = 20,75 \text{ m}$$

rozpětí poloviny kopule

$$b_{1,s} = 10,375 \text{ m}$$

rozpětí přístavku

$$b_2 = 8,00 \text{ m}$$

$$\mu_s = \frac{0,8 \cdot (b_{1,s} \cdot b_{b1,s})}{(l_s \cdot b_{l_s})} = \frac{0,8 \cdot (10,375 \cdot 2,01)}{(5,430 \cdot 5,08)} = 0,605$$

pozn. nejedná se o pravoúhlou střechu, proto je nutná korekce

průměrná šířka pole kopule

$$b_{b1,s} = 2,01 \text{ m}$$

průměrná šířka plochy navátého sněhu na hale

$$b_{l_s} = 5,08 \text{ m}$$

$$\mu_w = \frac{(b_1 + b_2)}{2 \cdot h} = \frac{(20,75 + 8,00)}{2 \cdot 2,715} = 5,295$$

$$\mu_w \leq \max \mu_w = 2,0 \quad (\text{pro sněhové oblasti I – IV})$$

$$\mu_w = 2,0$$

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w = 0,585 + 2,0 = 2,585$$

| číslo vaznice | úhel β [°] | ZŠ [mm] | sníh rovnoměrný | | sníh navátý | |
|---------------|------------------|---------|-------------------|-------|-------------------|-------|
| | | | KN/m ² | KN/m | KN/m ² | KN/m |
| F4b | 13,00 | 676,9 | 0,800 | 0,542 | 0,800 | 0,542 |
| E1 | 13,00 | 1120,5 | 0,800 | 0,896 | 0,800 | 0,896 |
| E2 | 13,00 | 1120,5 | 0,800 | 0,896 | 0,993 | 1,113 |
| E3 | 13,00 | 1120,5 | 0,800 | 0,896 | 1,361 | 1,525 |
| E4 | 13,00 | 1120,5 | 0,800 | 0,896 | 1,730 | 1,938 |
| E5 | 13,00 | 1120,5 | 0,800 | 0,896 | 2,098 | 2,351 |
| E6 | 13,00 | 1032,6 | 0,800 | 0,826 | 2,467 | 2,547 |

2.2.2 VÍTR

lokalita Brno

II. větrná oblast

II. kategorie terénu

výchozí základní rychlost větru

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

součinitel směru větru

$$c_{dir} = 1,0$$

součinitel ročního období

$$c_{season} = 1,0$$

1) základní rychlost větru

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_{dir} \cdot c_{season} = 25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 25 \text{ m/s}$$

součinitel orografie

$$c_0(z) = 1,0$$

parametr drsnosti terénu

$$z_0 = 0,05 \text{ m}$$

| | |
|-----------------|---------------------------|
| minimální výška | $z_{min} = 2 \text{ m}$ |
| maximální výška | $z_{max} = 200 \text{ m}$ |
| výška přístavku | $z = 4,30 \text{ m}$ |

$$z_{min} < z < z_{max}$$

$$2 < 4,30 < 200$$

součinitel terénu

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m} \quad \text{II. kategorie terénu}$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19$$

součinitel drsnosti

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,19 \cdot \ln \left(\frac{4,30}{0,05} \right) = 0,846$$

2) střední rychlost větru

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,846 \cdot 1,0 \cdot 25 = 21,2 \text{ m/s}$$

$$\text{součinitel turbulence} \quad k_1 = 1,0$$

$$\text{měrná hmotnost vzduchu} \quad \rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

intenzita turbulence

$$l_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln \left(\frac{4,30}{0,05} \right)} = 0,224$$

3) maximální dynamický tlak

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m(z)^2$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,224] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 21,2^2 = 0,721 \text{ KN/m}^2$$

4) tlak větru na vnitřní povrchy

$$c_{pi} = 0,200$$

$$c_{pi} = -0,300$$

5) tlak větru na vnější povrchy

a) směr větru $\theta = 0^\circ$

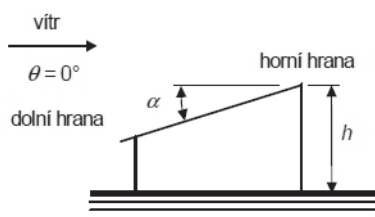
$$\text{délka haly (průměrná)} \quad b = 16,75 \text{ m}$$

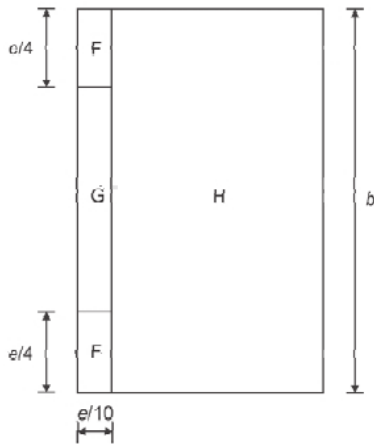
$$\text{šířka haly} \quad d = 8,00 \text{ m}$$

$$\text{výška haly} \quad h = 4,30 \text{ m}$$

i) vítr na střeche

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(16,75; 2 \cdot 4,30) = 8,60 \text{ m}$$





| Úhel sklonu α | Oblast pro směr větru $\theta = 0^\circ$ | | | | | |
|----------------------|--|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | F | | G | | H | |
| | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| 5° | -1,7 | -2,5 | -1,2 | -2,0 | -0,6 | -1,2 |
| | +0,0 | | +0,0 | | +0,0 | |
| 15° | -0,9 | -2,0 | -0,8 | -1,5 | -0,3 | |
| | +0,2 | | +0,2 | | +0,2 | |
| 30° | -0,5 | -1,5 | -0,5 | -1,5 | -0,2 | |
| | +0,7 | | +0,7 | | +0,4 | |

$$c_{pe} = c_{pe,1} + (c_{pe,10} - c_{pe,1}) \cdot \log_{10} A$$

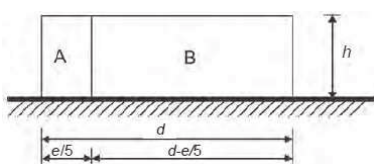
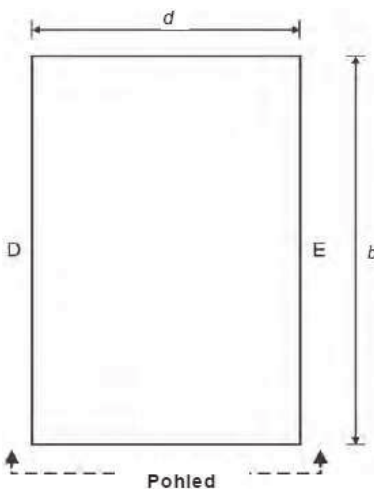
| číslo vaznice | úhel β [°] | oblast | referenční plocha A [m²] | součinitele * | |
|---------------|------------------|--------|--------------------------|---------------|------------|
| | | | | $c_{pe} +$ | $c_{pe} -$ |
| F4b – E5 | 13,00 | H | 103,721 | 0,160 | - 0,360 |
| E6 ** | 13,00 | F | 1,849 | 0,160 | - 1,822 |
| E6 | 13,00 | G | 7,115 | 0,160 | - 0,986 |

* součinitele pro mezilehlé hodnoty úhlů byly určeny lin. interpolací

** části vaznic na délce 2,150 m od štítů haly

ii) vítr na stěny

$$h / d = 4,30 / 8,00 = 0,538$$



| Oblast | A | | B | | C | | D | | E | |
|-------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| 5 | -1,2 | -1,4 | -0,8 | -1,1 | -0,5 | | +0,8 | +1,0 | -0,7 | |
| 1 | -1,2 | -1,4 | -0,8 | -1,1 | -0,5 | | +0,8 | +1,0 | -0,5 | |
| $\leq 0,25$ | -1,2 | -1,4 | -0,8 | -1,1 | -0,5 | | +0,7 | +1,0 | -0,3 | |

$$c_{pe} = c_{pe,1} + (c_{pe,10} - c_{pe,1}) \cdot \log_{10} A$$

| číslo vaznice | úhel β [°] | oblast | referenční plocha A [m²] | součinitele * | |
|---------------|------------------|--------|--------------------------|---------------|--|
| | | | | c_{pe} | |
| F1 – F4a ** | 77,00 | E | 87,752 | - 0,377 | |
| I1–I3, J1–J3 | 90,00 | B | 21,278 | - 0,800 | |
| I4, J4 | 90,00 | A | 3,848 | - 1,283 | |

* součinitele pro mezilehlé hodnoty poměrů byly určeny lin. interpolací

** pro velký sklon jsou tyto prvky uvažovány jako součást svislé stěny

b) směr větru $\theta = 180^\circ$

délka haly (průměrná)

$$b = 16,75 \text{ m}$$

šířka haly

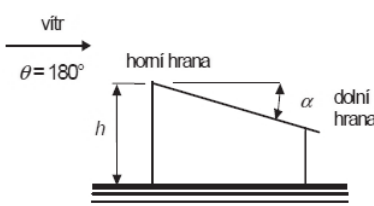
$$d = 8,00 \text{ m}$$

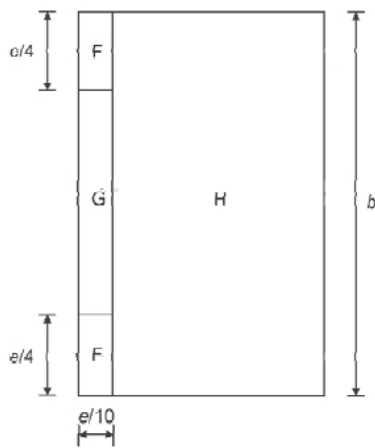
výška haly

$$h = 4,30 \text{ m}$$

i) vítr na střeche

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(16,75; 2 \cdot 4,30) = 8,60 \text{ m}$$





| Úhel sklonu α | Oblast pro směr větru $\theta = 180^\circ$ | | | | | |
|----------------------|--|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | F | | G | | H | |
| | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| 5° | -2,3 | -2,5 | -1,3 | -2,0 | -0,8 | -1,2 |
| 15° | -2,5 | -2,8 | -1,3 | -2,0 | -0,9 | -1,2 |
| 30° | -1,1 | -2,3 | -0,8 | -1,5 | -0,8 | |

$$c_{pe} = c_{pe,1} + (c_{pe,10} - c_{pe,1}) \cdot \log_{10} A$$

| číslo vaznice | úhel β [°] | oblast | referenční plocha A [m²] | součinitele * |
|---------------|------------------|--------|--------------------------|---------------|
| | | | | c_{pe} |
| F4b ** | 13,00 | F | 1,849 | - 2,665 |
| F4b | 13,00 | G | 13,461 | - 1,300 |
| E1 – E6 | 13,00 | H | 97,375 | - 0,880 |

* součinitele pro mezilehlé hodnoty úhlů byly určeny lin. interpolací

** části vaznic na délce 2,150 m od štítů haly

ii) vítr na stěny

$$h / d = 4,30 / 8,00 = 0,538$$

| Oblast | A | | B | | C | | D | | E | |
|-------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| 5 | -1,2 | -1,4 | -0,8 | -1,1 | -0,5 | -0,5 | +0,8 | +1,0 | -0,7 | -0,7 |
| 1 | -1,2 | -1,4 | -0,8 | -1,1 | -0,5 | -0,5 | +0,8 | +1,0 | -0,5 | -0,5 |
| $\leq 0,25$ | -1,2 | -1,4 | -0,8 | -1,1 | -0,5 | -0,5 | +0,7 | +1,0 | -0,3 | -0,3 |

$$c_{pe} = c_{pe,1} + (c_{pe,10} - c_{pe,1}) \cdot \log_{10} A$$

| číslo vaznice | úhel β [°] | oblast | referenční plocha A [m²] | součinitele * |
|---------------|------------------|--------|--------------------------|---------------|
| | | | | c_{pe} |
| F1 – F4a ** | 77,00 | D | 87,752 | 0,738 |
| I1, J1 | 90,00 | A | 6,592 | - 1,236 |
| I2–I4, J2–J4 | 90,00 | B | 18,534 | - 0,800 |

* součinitele pro mezilehlé hodnoty poměrů byly určeny lin.interpolací

** pro velký sklon jsou tyto prvky uvažovány jako součást stěny

c) směr větru $\theta = 90^\circ$

délka haly (průměrná)

$$d = 16,75 \text{ m}$$

šířka haly

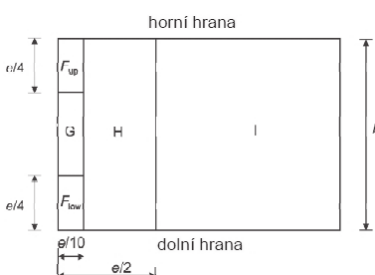
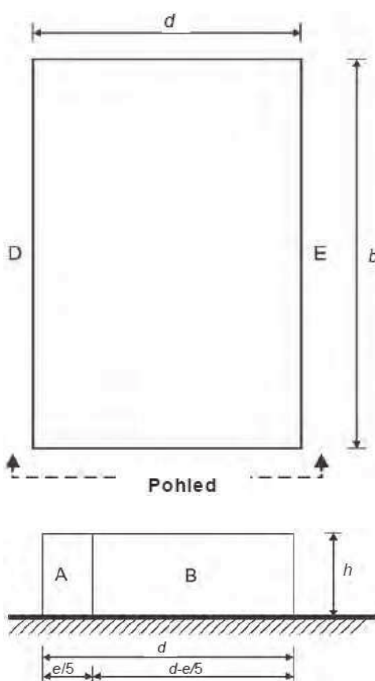
$$b = 8,00 \text{ m}$$

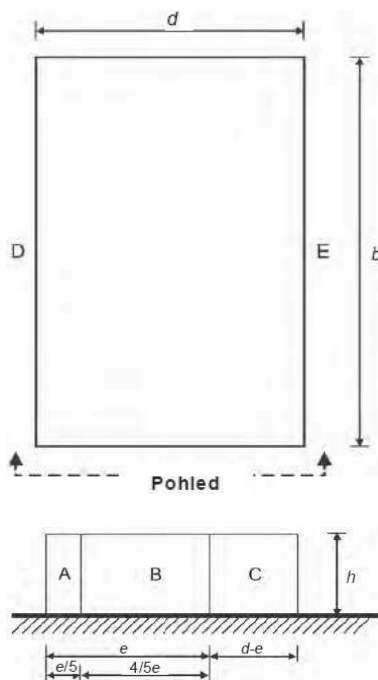
výška haly

$$h = 4,30 \text{ m}$$

i) vítr na střeche

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(8,00; 2 \cdot 4,30) = 8,00 \text{ m}$$





| Úhel sklonu α | Oblast pro směr větru $\theta = 90^\circ$ | | | | | | | | | |
|----------------------|---|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | F_{up} | | F_{low} | | G | | H | | I | |
| | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| 5° | -2,1 | -2,6 | -2,1 | -2,4 | -1,8 | -2,0 | -0,6 | -1,2 | -0,5 | |
| 15° | -2,4 | -2,9 | -1,6 | -2,4 | -1,9 | -2,5 | -0,8 | -1,2 | -0,7 | -1,2 |
| 30° | -2,1 | -2,9 | -1,3 | -2,0 | -1,5 | -2,0 | -1,0 | -1,3 | -0,8 | -1,2 |

$$c_{pe} = c_{pe,1} + (c_{pe,10} - c_{pe,1}) \cdot \log_{10} A$$

| číslo vaznice | úhel β [°] | oblast | referenční plocha A [m²] | součinitele * |
|---------------|------------------|-----------|--------------------------|---------------|
| | | | | c_{pe} |
| F4b – E1 ** | 13,00 | F_{up} | 1,600 | - 2,738 |
| E2 – E4 ** | 13,00 | G | 2,545 | - 2,189 |
| E5 – E6 ** | 13,00 | F_{low} | 1,600 | - 2,257 |
| F4b – E6 *** | 13,00 | H | 32,433 | - 0,760 |
| F4b – E6 **** | 13,00 | I | 76,356 | - 0,660 |

* součinitele pro mezilehlé hodnoty úhlů byly určeny lin. interpolací

** části vaznic v poli u návětrné strany o délce 0,800 m

*** zbylé části vaznic v poli u návětrné strany

**** vaznice v ostatních polích

ii) vítr na stěny

$$h / d = 4,30 / 16,75 = 0,257$$

| Oblast | A | | B | | C | | D | | E | |
|-------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| 5 | -1,2 | -1,4 | -0,8 | -1,1 | -0,5 | | +0,8 | +1,0 | -0,7 | |
| 1 | -1,2 | -1,4 | -0,8 | -1,1 | -0,5 | | +0,8 | +1,0 | -0,5 | |
| $\leq 0,25$ | -1,2 | -1,4 | -0,8 | -1,1 | -0,5 | | +0,7 | +1,0 | -0,3 | |

$$c_{pe} = c_{pe,1} + (c_{pe,10} - c_{pe,1}) \cdot \log_{10} A$$

| číslo vaznice | úhel β [°] | oblast | referenční plocha A [m²] | součinitele * |
|---------------|------------------|--------|--------------------------|---------------|
| | | | | c_{pe} |
| F1 – F4a ** | 77,00 | A | 6,681 | - 1,235 |
| F1 – F4a *** | 77,00 | B | 26,725 | - 0,800 |
| F1 – F4a **** | 77,00 | C | 54,346 | - 0,500 |
| I1–I4, J1–J4 | 90,00 | D | 25,126 | 0,701 |
| I1–I4, J1–J4 | 90,00 | E | 25,126 | - 0,302 |

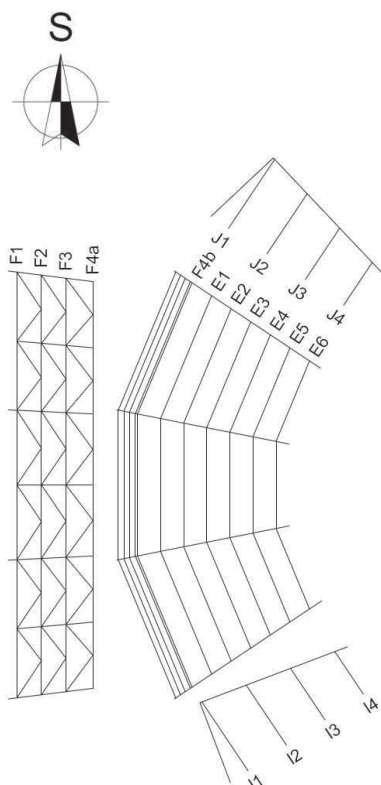
* součinitele pro mezilehlé hodnoty poměrů byly určeny lin.interpolací

** části vaznic v poli u návětrné strany o délce 1,600 m

*** zbylé části vaznic v poli u návětrné strany

**** vaznice v ostatních polích

** *** **** pro velký sklon jsou tyto prvky uvažovány jako součást stěny



6) výsledný tlak větru

$$w_k = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi})$$

2.2.2.1 VÍTR ZÁPADNÍ – ZS4

| číslo vaznice | ZŠ [mm] | $q_p(z)$ [KN/m ²] | součinitele | | směr větru $\theta = 180^\circ$ | |
|---------------|---------|-------------------------------|-------------|----------|---------------------------------|---------|
| | | | c_{pe} | c_{pi} | KN/m ² | KN/m |
| F1 | 1040 | 0,721 | 0,738 | - 0,300 | 0,748 | 0,778 |
| F2 – F3 | 1200 | 0,721 | 0,738 | - 0,300 | 0,748 | 0,898 |
| F4a | 660 | 0,721 | 0,738 | - 0,300 | 0,748 | 0,494 |
| F4b * | 695 | 0,721 | - 2,665 | 0,200 | - 2,066 | - 1,436 |
| F4b | 695 | 0,721 | - 1,300 | 0,200 | - 1,082 | - 0,752 |
| E1 – E5 | 1150 | 0,721 | - 0,880 | 0,200 | - 0,779 | - 0,896 |
| E6 | 1055 | 0,721 | - 0,880 | 0,200 | - 0,779 | - 0,822 |
| I1, J1 | 1700 | 0,721 | - 1,236 | 0,200 | - 1,035 | - 1,760 |
| I2, J2 | 2260 | 0,721 | - 0,800 | 0,200 | - 0,721 | - 1,629 |
| I3, J3 | 2280 | 0,721 | - 0,800 | 0,200 | - 0,721 | - 1,644 |
| I4, J4 | 1500 | 0,721 | - 0,800 | 0,200 | - 0,721 | - 1,082 |

* části vaznic na délce 2,150 m od štítů haly

2.2.2.2 VÍTR SEVERNÍ – ZS5

| číslo vaznice | ZŠ [mm] | $q_p(z)$ [KN/m ²] | součinitele | | směr větru $\theta = 90^\circ$ | |
|---------------|---------|-------------------------------|-------------|----------|--------------------------------|---------|
| | | | c_{pe} | c_{pi} | KN/m ² | KN/m |
| F1 * | 1040 | 0,721 | - 1,235 | 0,200 | - 1,035 | - 1,076 |
| F1 ** | 1040 | 0,721 | - 0,800 | 0,200 | - 0,721 | - 0,750 |
| F1 *** | 1040 | 0,721 | - 0,500 | 0,200 | - 0,505 | - 0,525 |
| F2 – F3 * | 1200 | 0,721 | - 1,235 | 0,200 | - 1,035 | - 1,242 |
| F2 – F3 ** | 1200 | 0,721 | - 0,800 | 0,200 | - 0,721 | - 0,865 |
| F2 – F3 *** | 1200 | 0,721 | - 0,500 | 0,200 | - 0,505 | - 0,606 |
| F4a * | 660 | 0,721 | - 1,235 | 0,200 | - 1,035 | - 0,683 |
| F4a ** | 660 | 0,721 | - 0,800 | 0,200 | - 0,721 | - 0,476 |
| F4a *** | 660 | 0,721 | - 0,500 | 0,200 | - 0,505 | - 0,333 |
| F4b **** | 695 | 0,721 | - 2,738 | 0,200 | - 2,118 | - 1,472 |
| F4b ** | 695 | 0,721 | - 0,760 | 0,200 | - 0,692 | - 0,481 |
| F4b *** | 695 | 0,721 | - 0,660 | 0,200 | - 0,620 | - 0,431 |
| E1 **** | 1150 | 0,721 | - 2,738 | 0,200 | - 2,118 | - 2,436 |
| E2 – E4 **** | 1150 | 0,721 | - 2,189 | 0,200 | - 1,722 | - 1,980 |
| E5 **** | 1150 | 0,721 | - 2,257 | 0,200 | - 1,771 | - 2,037 |
| E1 – E5 ** | 1150 | 0,721 | - 0,760 | 0,200 | - 0,692 | - 0,796 |

| číslo vaznice | ZŠ [mm] | $q_p(z)$ [kN/m ²] | součinitele | | směr větru $\theta = 90^\circ$ | |
|---------------|---------|-------------------------------|-------------|----------|--------------------------------|---------|
| | | | c_{pe} | c_{pi} | kN/m ² | kN/m |
| E1 – E5 *** | 1150 | 0,721 | - 0,660 | 0,200 | - 0,620 | - 0,713 |
| E6 **** | 1055 | 0,721 | - 2,257 | 0,200 | - 1,771 | - 1,868 |
| E6 ** | 1055 | 0,721 | - 0,760 | 0,200 | - 0,692 | - 0,730 |
| E6 *** | 1055 | 0,721 | - 0,660 | 0,200 | - 0,620 | - 0,654 |
| I1 ***** | 1700 | 0,721 | - 0,302 | 0,200 | - 0,362 | - 0,615 |
| I2 ***** | 2260 | 0,721 | - 0,302 | 0,200 | - 0,362 | - 0,818 |
| I3 ***** | 2280 | 0,721 | - 0,302 | 0,200 | - 0,362 | - 0,825 |
| I4 ***** | 1500 | 0,721 | - 0,302 | 0,200 | - 0,362 | - 0,543 |
| J1 ***** | 1700 | 0,721 | 0,701 | - 0,300 | 0,722 | 1,227 |
| J2 ***** | 2260 | 0,721 | 0,701 | - 0,300 | 0,722 | 1,632 |
| J3 ***** | 2280 | 0,721 | 0,701 | - 0,300 | 0,722 | 1,646 |
| J4 ***** | 1500 | 0,721 | 0,701 | - 0,300 | 0,722 | 1,083 |

* části vaznic v poli u návětrné strany o délce 1,600 m

** zbylé části vaznic v poli u návětrné strany

*** vaznice v ostatních polích

**** části vaznic v poli u návětrné strany o délce 0,800 m

***** sloupy na návětrné straně

***** sloupy na závětrné straně

2.2.2.3 VÍTR VÝCHODNÍ – TLAK – ZS6

| číslo vaznice | ZŠ [mm] | $q_p(z)$ [kN/m ²] | součinitele | | směr větru $\theta = 180^\circ$ | |
|---------------|---------|-------------------------------|-------------|----------|---------------------------------|---------|
| | | | c_{pe} | c_{pi} | kN/m ² | kN/m |
| F1 | 1040 | 0,721 | - 0,377 | 0,200 | - 0,416 | - 0,433 |
| F2 – F3 | 1200 | 0,721 | - 0,377 | 0,200 | - 0,416 | - 0,499 |
| F4a | 660 | 0,721 | - 0,377 | 0,200 | - 0,416 | - 0,275 |
| F4b | 695 | 0,721 | 0,160 | - 0,300 | 0,332 | 0,231 |
| E1 – E5 | 1150 | 0,721 | 0,160 | - 0,300 | 0,332 | 0,382 |
| E6 | 1055 | 0,721 | 0,160 | - 0,300 | 0,332 | 0,350 |
| I1, J1 | 1700 | 0,721 | - 0,800 | 0,200 | - 0,721 | - 1,226 |
| I2, J2 | 2260 | 0,721 | - 0,800 | 0,200 | - 0,721 | - 1,629 |
| I3, J3 | 2280 | 0,721 | - 0,800 | 0,200 | - 0,721 | - 1,644 |
| I4, J4 | 1500 | 0,721 | - 1,283 | 0,200 | - 1,069 | - 1,604 |

2.2.2.4 VÍTR VÝCHODNÍ – SÁNÍ – ZS7

| číslo vaznice | ZŠ [mm] | $q_p(z)$ [kN/m ²] | součinitele | | směr větru $\theta = 180^\circ$ | |
|---------------|---------|-------------------------------|-------------|----------|---------------------------------|---------|
| | | | c_{pe} | c_{pi} | kN/m ² | kN/m |
| F1 | 1040 | 0,721 | - 0,377 | 0,200 | - 0,416 | - 0,433 |
| F2 – F3 | 1200 | 0,721 | - 0,377 | 0,200 | - 0,416 | - 0,499 |
| F4a | 660 | 0,721 | - 0,377 | 0,200 | - 0,416 | - 0,275 |
| F4b | 695 | 0,721 | - 0,360 | 0,200 | - 0,404 | - 0,281 |
| E1 – E5 | 1150 | 0,721 | - 0,360 | 0,200 | - 0,404 | - 0,465 |
| E6 * | 1055 | 0,721 | - 1,822 | 0,200 | - 1,458 | - 1,538 |
| E6 | 1055 | 0,721 | - 0,986 | 0,200 | - 0,855 | - 0,902 |
| I1, J1 | 1700 | 0,721 | - 0,800 | 0,200 | - 0,721 | - 1,226 |
| I2, J2 | 2260 | 0,721 | - 0,800 | 0,200 | - 0,721 | - 1,629 |
| I3, J3 | 2280 | 0,721 | - 0,800 | 0,200 | - 0,721 | - 1,644 |
| I4, J4 | 1500 | 0,721 | - 1,283 | 0,200 | - 1,069 | - 1,604 |

* části vaznic na délce 2,150 m od štítů haly

2.2.2.5 VÍTR JIŽNÍ – ZS8

analogicky jako ZS5, pouze pootočeno o 180°

2.2.3 UŽITNÉ ZATÍŽENÍ

kategorie H střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby

plošné zatížení $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$

osamělé břemeno $Q_k = 1,00 \text{ kN}$

| číslo vaznice | ZŠ [mm] | q_k [kN/m ²] | q_k' [kN/m] |
|---------------|---------|----------------------------|---------------|
| F4b | 695 | 0,75 | 0,521 |
| E1 – E5 | 1150 | 0,75 | 0,863 |
| E6 | 1055 | 0,75 | 0,791 |

3 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

3.1 ZATĚŽOVACÍ STAVY

| | |
|-----|--|
| ZS1 | vlastní tíha + střešní plášť + podhled + skleněná fasáda |
| ZS2 | sníh rovnoměrný |
| ZS3 | sníh navátý |
| ZS4 | vítr západní |
| ZS5 | vítr severní |
| ZS6 | vítr východní – tlak |
| ZS7 | vítr východní – sání |
| ZS8 | vítr jižní |
| ZS9 | užitné zatížení |

3.2 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

Tabulka A1.2 (B) – návrhové hodnoty zatížení (STR/GEO) (soubor B)

| Trvalé a dočasné návrhové situace | Stálá zatížení | | Hlavní proměnné zatížení | Vedlejší proměnná zatížení (*) | |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | nepříznivá | příznivá | | nejúčinnější (pokud se vyskytuje) | ostatní |
| (Výraz 6.10) | $\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$ | $\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$ | $\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$ | | $\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ |

| Trvalé a dočasné návrhové situace | Stálá zatížení | | Hlavní proměnné zatížení (*) | Vedlejší proměnná zatížení (*) | |
|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | nepříznivá | příznivá | | nejúčinnější | ostatní |
| (Výraz 6.10a) | $\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$ | $\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$ | | $\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$ | $\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ |
| (Výraz 6.10b) | $\xi \gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$ | $\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$ | $\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$ | | $\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ |

$$\gamma_{Gj,sup} = 1,35$$

$$\gamma_{Gj,inf} = 1,00$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,50 \text{ (0 pro nepříznivé)}$$

$$\gamma_{Q,i} = 1,50 \text{ (0 pro nepříznivé)}$$

$$\xi = 0,85 \text{ (takže } \xi \cdot \gamma_{Gj,sup} = 0,85 \cdot 1,35 = 1,15)$$

$$\psi_0 = 0,50 \text{ – zatížení sněhem, pro stavby ve výšce } < 1000 \text{ m. n. m.}$$

$$0,60 \text{ – zatížení větrem}$$

$$0,00 \text{ – zatížení užitné}$$

3.3 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Tabulka A1.4 - návrhové hodnoty zatížení v kombinacích zatížení

| Kombinace | Stálá zatížení G_d | | Proměnná zatížení Q_d | |
|------------------|----------------------|---------------|-------------------------|----------------------|
| | nepříznivá | příznivá | hlavní | vedlejší |
| Charakteristická | $G_{k,j,sup}$ | $G_{k,j,inf}$ | $Q_{k,1}$ | $\psi_{0,i} Q_{k,i}$ |
| Častá | $G_{k,j,sup}$ | $G_{k,j,inf}$ | $\psi_{1,1} Q_{k,1}$ | $\psi_{2,i} Q_{k,i}$ |
| Kvazistálá | $G_{k,j,sup}$ | $G_{k,j,inf}$ | $\psi_{2,1} Q_{k,1}$ | $\psi_{2,i} Q_{k,i}$ |

$\psi_0 = 0,50$ – zatížení sněhem, pro stavby ve výšce < 1000 m. n. m.

0,60 – zatížení větrem

0,00 – zatížení užitné

$\psi_1 = 0,20$ – zatížení sněhem, pro stavby ve výšce < 1000 m. n. m.

0,20 – zatížení větrem

0,00 – zatížení užitné

$\psi_2 = 0,00$ – zatížení sněhem, pro stavby ve výšce < 1000 m. n. m.

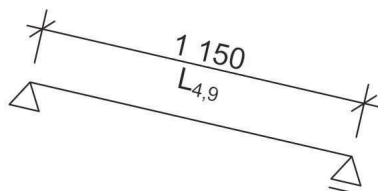
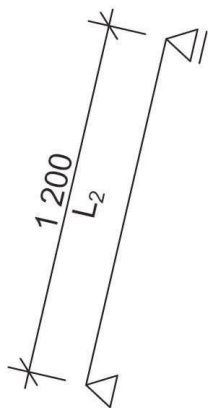
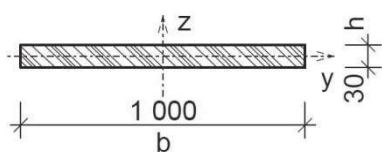
0,00 – zatížení větrem

0,00 – zatížení užitné

| | KS1 | KS2 | KS3 | KS4 | KS5 | KS6 | KS7 | KS8 | KS9 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| KV1 | XXX | | | | | | | | |
| KV2 | XXX | XX | | | | | | | |
| KV3 | XXX | | XX | | | | | | |
| KV4 | XXX | XX | | X | | | | | |
| KV5 | XXX | XX | | | X | | | | |
| KV6 | XXX | XX | | | | X | | | |
| KV7 | XXX | XX | | | | | X | | |
| KV8 | XXX | XX | | | | | | X | |
| KV9 | XXX | | XX | X | | | | | |
| KV10 | XXX | | XX | | X | | | | |
| KV11 | XXX | | XX | | | X | | | |
| KV12 | XXX | | XX | | | | X | | |
| KV13 | XXX | | XX | | | | | X | |
| KV14 | XXX | | | XX | | | | | |
| KV15 | XXX | | | | XX | | | | |
| KV16 | XXX | | | | | XX | | | |
| KV17 | XXX | | | | | | XX | | |
| KV18 | XXX | | | | | | | XX | |
| KV19 | XXX | X | | XX | | | | | |

| | ZS1 | ZS2 | ZS3 | ZS4 | ZS5 | ZS6 | ZS7 | ZS8 | ZS9 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| KV20 | XXX | X | | | XX | | | | |
| KV21 | XXX | X | | | | XX | | | |
| KV22 | XXX | X | | | | | XX | | |
| KV23 | XXX | X | | | | | | XX | |
| KV24 | XXX | | X | XX | | | | | |
| KV25 | XXX | | X | | XX | | | | |
| KV26 | XXX | | X | | | XX | | | |
| KV27 | XXX | | X | | | | XX | | |
| KV28 | XXX | | X | | | | | XX | |
| KV29 | XXX | | | | | | | | XX |
| KV30 | XXX | X | | | | | | | XX |
| KV31 | XXX | | X | | | | | | XX |
| KV32 | XXX | X | | X | | | | | XX |
| KV33 | XXX | X | | | X | | | | XX |
| KV34 | XXX | X | | | | X | | | XX |
| KV35 | XXX | X | | | | | X | | XX |
| KV36 | XXX | X | | | | | | X | XX |
| KV37 | XXX | | X | X | | | | | XX |
| KV38 | XXX | | X | | X | | | | XX |
| KV39 | XXX | | X | | | X | | | XX |
| KV40 | XXX | | X | | | | X | | XX |
| KV41 | XXX | | X | | | | | X | XX |
| KV42 | XXX | | | X | | | | | XX |
| KV43 | XXX | | | | X | | | | XX |
| KV44 | XXX | | | | | X | | | XX |
| KV45 | XXX | | | | | | X | | XX |
| KV46 | XXX | | | | | | | X | XX |

XXX stálé zatížení
 XX hlavní proměnné zatížení
 X vedlejší proměnné zatížení



4 POSOUZENÍ PRVKŮ

4.1 STŘEŠNÍ PLÁŠŤ

nosnou část střešního pláště tvoří překližované desky DYAS MULTIPLEX – třída lepení 1 (viz 5.1), rozměr desek 2 500 x 1 250 x 30 mm, tvořící bednění osazené vedle sebe na sraz na vaznice

4.1.1 GEOMETRIE

| | |
|-----------------------|--|
| šířka | $b = 1\,000\text{ mm}$ |
| výška | $h = 30\text{ mm}$ |
| plocha průřezu | $A = b \cdot h = 30\,000\text{ mm}^2$ |
| moment setrvačnosti | $I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = 2,25 \cdot 10^6\text{ mm}^4$ |
| průřezový modul | $W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = 1,50 \cdot 10^5\text{ mm}^3$ |
| poloměry setrvačnosti | $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 8,70\text{ mm}$ |
| rozpětí | $L_2 = 1\,200\text{ mm}$ $L_{4,9} = 1\,150\text{ mm}$ |

4.1.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|---------------------------------------|--|
| překližka | třída lepení 1 |
| třída provozu | 2 |
| třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| hodnota k_{mod} | 0,90 |
| souč. vlastnosti materiálu γ_M | 1,20 |
| návrhová hodnota pevnosti | $f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$ |
| charakteristická pevnost v ohybu | $f_{m,k} = 54,0\text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v ohybu | $f_{m,d} = 40,5\text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tlaku | $f_{c,0,k} = 30,0\text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tlaku | $f_{c,0,d} = 22,5\text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 1,00\text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 0,75\text{ MPa}$ |
| modul pružnosti | $E_{0,mean} = 8\,000\text{ MPa}$ $E_{0,05} = 6\,700\text{ MPa}$ |
| hustota | $\rho = 750\text{ kg/m}^3$ |

4.1.3 ZATÍŽENÍ**4.1.3.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ**

střešní plášť $g_{1,k} = 0,627 \text{ KN/m}^2$ viz 2.1.2

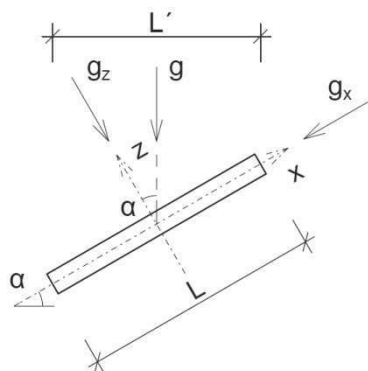
Σ stálé zatížení $g_k = g_{1,k} = 0,627 \text{ KN/m}$

4.1.3.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

viz 2.2

4.1.3.3 ROZKLAD ZATÍŽENÍ

$$g_x = g \cdot \sin \alpha \quad g_z = g \cdot \cos \alpha \quad s_k' = s_k \cdot L' / L$$



| | α [°] | stálé zatížení | | | sníh | | | | vítr |
|---|-----------------|----------------|-----------|-----------|-------|--------|------------|------------|---------|
| | | g_k | $g_{x,k}$ | $g_{z,k}$ | s_k | s_k' | $s_{x,k}'$ | $s_{z,k}'$ | |
| 2 | 77 | 0,627 | 0,611 | 0,141 | - | - | - | - | - 1,035 |
| 4 | 13 | 0,627 | 0,141 | 0,611 | - | - | - | - | - 2,118 |
| 9 | 13 | 0,627 | 0,141 | 0,611 | 2,282 | 2,223 | 0,500 | 2,166 | 0,332 |

při sání větru není uvažováno se zatížení sněhem

užitné zatížení není uvedeno, jelikož se pro svůj kombinační součinitel $\psi_0 = 0$ nevyskytuje v rozhodující kombinaci zatížení

4.1.4 VNITŘNÍ SÍLY

$$N_k = g_{x,k} \cdot L \quad V_k = \frac{1}{2} \cdot g_{z,k} \cdot L \quad M_k = \frac{1}{8} \cdot g_{z,k} \cdot L^2$$

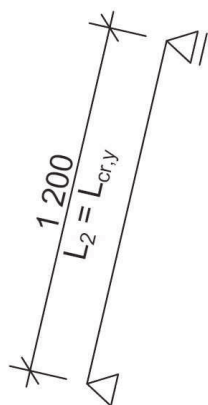
| | L [m] | stálé zatížení | | |
|---|----------|----------------|-----------|-----------|
| | | $N_{g,k}$ | $V_{g,k}$ | $M_{g,k}$ |
| 2 | 1,20 | 0,733 | 0,085 | 0,025 |
| 4 | 1,15 | 0,162 | 0,351 | 0,101 |
| 9 | | 0,162 | 0,351 | 0,101 |

| | L [m] | sníh | | | vítr | |
|---|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ | $V_{w,k}$ | $M_{w,k}$ |
| 2 | 1,20 | - | - | - | - 0,621 | - 0,186 |
| 4 | 1,15 | - | - | - | - 1,218 | - 0,350 |
| 9 | | 0,575 | 1,245 | 0,358 | 0,191 | 0,055 |

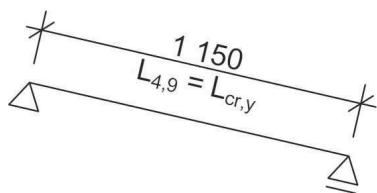
kombinace a návrhové hodnoty vnitřních sil (hodnoty viz 3.2)

$$F_{d,2,4} = \gamma_{Gj,sup} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot S_k + \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot W_k$$

$$F_{d,9} = \gamma_{Gj,inf} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot W_k$$



$\beta_c = 0,1$ (pro překližku)



| | návrhové vnitřní síly | | |
|---|-----------------------|---------|---------|
| | N_d | V_d | M_d |
| 2 | 0,733 | - 0,847 | - 0,254 |
| 4 | 0,162 | - 1,476 | - 0,424 |
| 9 | 1,081 | 2,513 | 0,723 |

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_d}{W_y}$$

| | návrhové vnitřní síly | | |
|---|-----------------------|----------|------------------|
| | $\sigma_{c,0,d}$ | τ_d | $\sigma_{m,y,d}$ |
| 2 | 0,024 | 0,042 | 1,693 |
| 4 | 0,005 | 0,074 | 2,827 |
| 9 | 0,036 | 0,126 | 4,820 |

4.1.5 POSOUZENÍ – MSÚ

4.1.5.1 VZPĚR – POLE 2

$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

$$L_{cr,y} = L_2 \cdot \beta = 1\,200 \cdot 1,0 = 1\,200 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1\,200}{8,70} = 138$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{138}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{30}{6\,700}} = 2,94$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (2,94 - 0,3) + 2,94^2) = 4,95$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{4,95 + \sqrt{4,95^2 - 2,94^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,112$$

4.1.5.2 VZPĚR – POLE 4, 9

$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

$$L_{cr,y} = L_{4,9} \cdot \beta = 1\,150 \cdot 1,0 = 1\,150 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1\,150}{8,70} = 132$$

$$\beta_c = 0,1 \text{ (pro překližku)}$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{132}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{30}{6\,700}} = 2,81$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (2,81 - 0,3) + 2,81^2) = 4,57$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{4,57 + \sqrt{4,57^2 - 2,81^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,122$$

POSOUZENÍ

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (1)$$

4.1.5.3 SMYK

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (2)$$

| | podmínky | |
|---|----------|-------|
| | (1) | (2) |
| 2 | 0,051 | 0,056 |
| 4 | 0,072 | 0,099 |
| 9 | 0,132 | 0,168 |

VYHOVÍ

4.1.6 POSOUZENÍ – MSP

pole 9

4.1.6.1 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{inst,G} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{z,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,611 \cdot 10^3 \cdot 1\,150^4}{8\,000 \cdot 10^6 \cdot 2,25 \cdot 10^6}$$

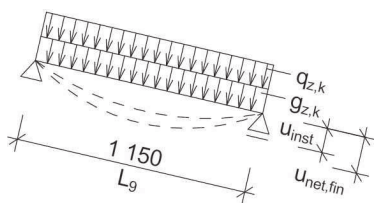
$$u_{inst,G} = 0,77 \text{ mm}$$

4.1.6.2 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{inst,Q,1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{z,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2,166 \cdot 10^3 \cdot 1\,150^4}{8\,000 \cdot 10^6 \cdot 2,25 \cdot 10^6}$$

$$u_{inst,Q,1} = 2,74 \text{ mm}$$

$$u_{inst,Q,i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{z,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,332 \cdot 10^3 \cdot 1\,150^4}{8\,000 \cdot 10^6 \cdot 2,25 \cdot 10^6}$$



$$u_{inst,Q,i} = 0,42 \text{ mm}$$

$$u_{inst} = u_{inst,G} + u_{inst,Q,1} + \psi_{0,i} \cdot u_{inst,Q,i}$$

$$u_{inst} = 0,77 + 2,74 + 0,6 \cdot 0,42 = 3,76 \text{ mm}$$

$$u_{inst} \leq \frac{L}{300} = \frac{1\,150}{300} = 3,83 \text{ mm}$$

$$3,76 \text{ mm} < 3,83 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

4.1.6.3 KONEČNÝ PRŮHYB

$$k_{def} = 1,0$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 0,77 \cdot (1 + 1,0) = 1,54 \text{ mm}$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 2,74 \cdot (1 + 0 \cdot 1,0) = 2,74 \text{ mm}$$

$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def})$$

$$u_{fin,Q,i} = 0,42 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,8) = 0,25 \text{ mm}$$

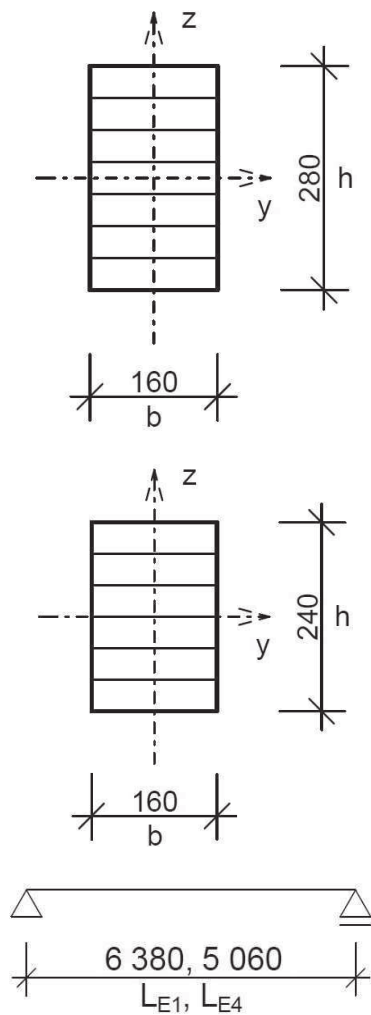
$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q,1} + u_{fin,Q,i}$$

$$u_{fin} = 1,54 + 2,74 + 0,25 = 4,53 \text{ mm}$$

$$u_{fin} \leq \frac{L}{250} = \frac{1\,150}{250} = 4,60 \text{ mm}$$

$$4,53 \text{ mm} < 4,60 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



4.2 STŘEŠNÍ VAZNICE

staticky budou působit jako prosté nosníky osazené do třmenů připevněných na žebra

4.2.1 GEOMETRIE

| | | vaznice E1 | vaznice E4 |
|-----------------------|-------|--|--|
| šířka | b | 160 mm | 160 mm |
| výška | h | 280 mm | 240 mm |
| plocha průřezu | A | 44 800 mm ² | 38 400 mm ² |
| momenty setrvačnosti | I_y | 2,93 · 10 ⁸ mm ⁴ | 1,84 · 10 ⁸ mm ⁴ |
| | I_z | 9,56 · 10 ⁷ mm ⁴ | 8,19 · 10 ⁷ mm ⁴ |
| průřezové moduly | W_y | 2,09 · 10 ⁶ mm ³ | 1,54 · 10 ⁶ mm ³ |
| | W_z | 1,19 · 10 ⁶ mm ³ | 1,02 · 10 ⁶ mm ³ |
| poloměry setrvačnosti | i_y | 80,8 mm | 69,3 mm |
| | i_z | 46,2 mm | 46,2 mm |
| rozpětí | L | 6 380 mm | 5 060 mm |
| osová vzdálenost | B | 1 150 mm | 1 150 mm |

4.2.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|---------------------------------------|---------------------|
| rostlé dřevo | GL24h |
| třída provozu | 2 |
| třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| hodnota k_{mod} | 0,90 |
| souč. vlastnosti materiálu γ_M | 1,25 |

| | |
|---------------------------|--|
| návrhová hodnota pevnosti | $f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$ |
|---------------------------|--|

| | |
|----------------------------------|------------------------------|
| charakteristická pevnost v ohybu | $f_{m,k} = 24,0 \text{ MPa}$ |
|----------------------------------|------------------------------|

| | |
|--------------------------|------------------------------|
| návrhová pevnost v ohybu | $f_{m,d} = 17,3 \text{ MPa}$ |
|--------------------------|------------------------------|

| | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| charakteristická pevnost v tahu | $f_{t,0,k} = 16,5 \text{ MPa}$ |
|---------------------------------|--------------------------------|

| | |
|-------------------------|--------------------------------|
| návrhová pevnost v tahu | $f_{t,0,d} = 11,9 \text{ MPa}$ |
|-------------------------|--------------------------------|

| | |
|----------------------------------|--------------------------------|
| charakteristická pevnost v tlaku | $f_{c,0,k} = 24,0 \text{ MPa}$ |
|----------------------------------|--------------------------------|

| | |
|--------------------------|--------------------------------|
| návrhová pevnost v tlaku | $f_{c,0,d} = 17,3 \text{ MPa}$ |
|--------------------------|--------------------------------|

| | |
|-----------------------------------|------------------------------|
| charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 2,70 \text{ MPa}$ |
|-----------------------------------|------------------------------|

| | |
|---------------------------|------------------------------|
| návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 1,94 \text{ MPa}$ |
|---------------------------|------------------------------|

| | |
|------------------|------------------------------------|
| moduly pružnosti | $E_{0,mean} = 11\,600 \text{ MPa}$ |
|------------------|------------------------------------|

| | |
|--|---------------------------------|
| | $E_{0,05} = 9\,400 \text{ MPa}$ |
|--|---------------------------------|

| | |
|---------|-----------------------------|
| hustota | $\rho = 380 \text{ kg/m}^3$ |
|---------|-----------------------------|

4.2.3 ZATÍŽENÍ

4.2.3.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ

$$\text{vlastní tíha} \quad g_{0,k,E1} = A_{E1} \cdot \rho = 0,0448 \cdot 3,8 = 0,170 \text{ KN/m}$$

$$g_{0,k,E4} = A_{E4} \cdot \rho = 0,0384 \cdot 3,8 = 0,146 \text{ KN/m}$$

$$\text{střešní plášť} \quad g_{1,k} = 0,721 \text{ KN/m} \quad \text{viz 2.1.2}$$

$$\text{podhled} \quad g_{2,k} = 0,230 \text{ KN/m} \quad \text{viz 2.1.3}$$

$$\Sigma \text{ stálé zatížení} \quad g_{k,E1} = g_{0,k,E1} + g_{1,k} + g_{2,k} = 1,121 \text{ KN/m}$$

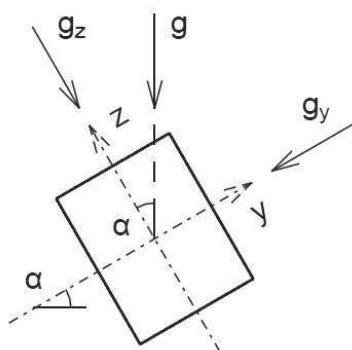
$$g_{k,E4} = g_{0,k,E4} + g_{1,k} + g_{2,k} = 1,097 \text{ KN/m}$$

4.2.3.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

viz tabulka

4.2.3.3 ROZKLAD ZATÍŽENÍ

$$g_y = g \cdot \sin \alpha \quad g_z = g \cdot \cos \alpha$$



| | α [°] | stálé zatížení | | | sníh | | | vítr |
|----|-----------------|----------------|-----------|-----------|-------|-----------|-----------|-------|
| | | g_k | $g_{y,k}$ | $g_{z,k}$ | s_k | $s_{y,k}$ | $s_{z,k}$ | |
| E1 | 13 | 1,121 | 0,252 | 1,092 | 0,896 | 0,202 | 0,873 | 0,382 |
| E4 | 13 | 1,097 | 0,247 | 1,069 | 1,938 | 0,436 | 1,888 | 0,382 |

sání větru působí příznivě, a proto není uvažováno

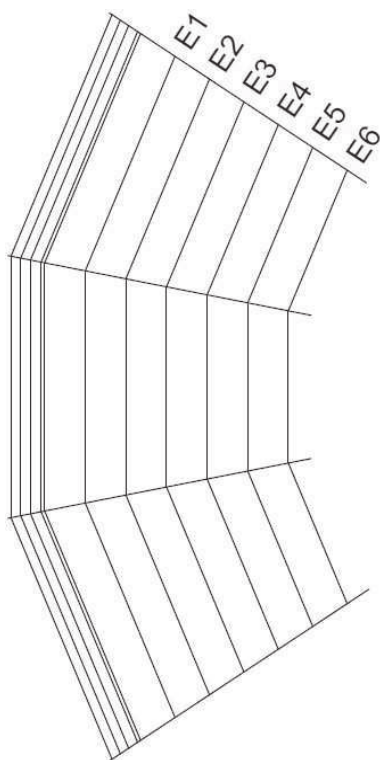
užitné zatížení není uvedeno, jelikož se pro svůj kombinační součinitel

$\psi_0 = 0$ nevyskytuje v rozhodující kombinaci zatížení

4.2.4 VNITŘNÍ SÍLY

$$V_{y,k} = \frac{1}{2} \cdot g_y \cdot L \quad V_{z,k} = \frac{1}{2} \cdot g_z \cdot L$$

$$M_{y,k} = \frac{1}{8} \cdot g_z \cdot L^2 \quad M_{z,k} = \frac{1}{8} \cdot g_y \cdot L^2$$



| | L [m] | stálé zatížení | | | |
|----|----------|----------------|-------------|-------------|-------------|
| | | $V_{y,g,k}$ | $V_{z,g,k}$ | $M_{y,g,k}$ | $M_{z,g,k}$ |
| E1 | 6,380 | 0,804 | 3,483 | 5,556 | 1,282 |
| E4 | 5,060 | 0,625 | 2,705 | 3,421 | 0,791 |

| | L [m] | sníh | | | | vítr | |
|----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | $V_{y,s,k}$ | $V_{z,s,k}$ | $M_{y,s,k}$ | $M_{z,s,k}$ | $V_{z,w,k}$ | $M_{y,w,k}$ |
| E1 | 6,380 | 0,644 | 2,785 | 4,442 | 1,028 | 1,219 | 1,944 |
| E4 | 5,060 | 1,103 | 4,777 | 6,042 | 1,395 | 0,966 | 1,223 |

kombinace a návrhové hodnoty vnitřních sil (hodnoty viz 3.2)

$$F_d = \gamma_{Gj,sup} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot S_k + \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot W_k$$

$$V_d = \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2}$$

N_d >> hodnoty převzaty z programu RFEM >> příloha F.4.1

| | návrhové vnitřní síly | | | | | |
|----|-----------------------|-----------|-----------|--------|-----------|-----------|
| | N_d | $V_{y,d}$ | $V_{z,d}$ | V_d | $M_{y,d}$ | $M_{z,d}$ |
| E1 | - 1,697 | 2,051 | 9,977 | 10,186 | 15,913 | 3,273 |
| E4 | 1,942 | 2,498 | 11,687 | 11,951 | 14,782 | 3,160 |

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \quad \tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}$$

| | návrhové napětí | | | |
|----|------------------|----------|------------------|------------------|
| | $\sigma_{c,0,d}$ | τ_d | $\sigma_{m,y,d}$ | $\sigma_{m,z,d}$ |
| E1 | - 0,061 | 0,341 | 7,601 | 2,735 |
| E4 | 0,050 | 0,467 | 9,612 | 3,084 |

4.2.5 POSOUZENÍ – MSÚ

4.2.5.1 KOMBINACE OHYBU A OSOVÉHO TAHU

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (1)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (2)$$

4.2.5.2 VZPĚR – VAZNICE E1

$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{E1} \cdot \beta = 6\,380 \cdot 1,0 = 6\,380 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6\,380}{80,8} = 79,0$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6\,380}{46,2} = 138$$

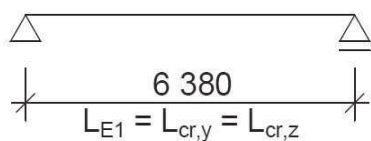
$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{79,0}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9\,400}} = 1,27$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{138}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9\,400}} = 2,22$$

$$\beta_c = 0,1 \text{ (pro LLD)}$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,27 - 0,3) + 1,27^2) = 1,35$$



$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (2,22 - 0,3) + 2,22^2) = 3,06$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,35 + \sqrt{1,35^2 - 1,27^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,553$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{3,06 + \sqrt{3,06^2 - 2,22^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,194$$

POSOUZENÍ

$$k_m = 0,7$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4)$$

4.2.5.3 SMYK

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (5)$$

| | podmínky | | | | |
|---|----------|-------|-------|-------|-------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| 5 | - | - | 0,556 | 0,484 | 0,176 |
| 8 | 0,685 | 0,571 | - | - | 0,241 |

VYHOVÍ

4.2.5.4 KLOPENÍ – VAZNICE E1

$$t = b = 160 \text{ mm}$$

$$a = h = 280 \text{ mm}$$

$$I_{tor} = \left(1 - 0,63 \cdot \frac{t}{a}\right) \cdot \frac{t^3 \cdot a}{3} = \left(1 - 0,63 \cdot \frac{160}{280}\right) \cdot \frac{160^3 \cdot 280}{3}$$

$$I_{tor} = 2,45 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$G_{0,05} = 583 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{9\,400 \cdot 9,56 \cdot 10^7 \cdot 583 \cdot 2,45 \cdot 10^8}}{6\,380 \cdot 2,09 \cdot 10^6} = 84,4 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{84,4}} = 0,533 < 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

KLOPENÍ NENASTANE

4.2.5.5 KLOPENÍ – VAZNICE E4

$$t = b = 160 \text{ mm}$$

$$a = h = 240 \text{ mm}$$

$$I_{tor} = \left(1 - 0,63 \cdot \frac{t}{a}\right) \cdot \frac{t^3 \cdot a}{3} = \left(1 - 0,63 \cdot \frac{160}{240}\right) \cdot \frac{160^3 \cdot 240}{3}$$

$$I_{tor} = 1,90 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$G_{0,05} = 583 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y}$$

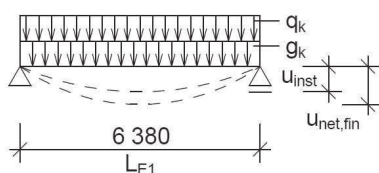
$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{9\,400 \cdot 8,19 \cdot 10^7 \cdot 583 \cdot 1,90 \cdot 10^8}}{5\,060 \cdot 1,54 \cdot 10^6} = 118 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{118}} = 0,451 < 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

KLOPENÍ NENASTANE

4.2.6 POSOUZENÍ – MSP – VAZNICE E1

vaznice E1

4.2.6.1 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{inst,y,G} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{y,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,252 \cdot 10^3 \cdot 6\,380^4}{11\,600 \cdot 10^6 \cdot 9,56 \cdot 10^7}$$

$$u_{inst,y,G} = 4,90 \text{ mm}$$

$$u_{inst,z,G} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{z,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,092 \cdot 10^3 \cdot 6\,380^4}{11\,600 \cdot 10^6 \cdot 2,93 \cdot 10^8}$$

$$u_{inst,z,G} = 6,93 \text{ mm}$$

4.2.6.2 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{inst,y,Q,1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{y,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,202 \cdot 10^3 \cdot 6\,380^4}{11\,600 \cdot 10^6 \cdot 9,56 \cdot 10^7}$$

$$u_{inst,y,Q,1} = 3,93 \text{ mm}$$

$$u_{inst,z,Q,1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{z,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,873 \cdot 10^3 \cdot 6\,380^4}{11\,600 \cdot 10^6 \cdot 2,93 \cdot 10^8}$$

$$u_{inst,z,Q,1} = 5,54 \text{ mm}$$

$$u_{inst,z,Q,i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{w_{z,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,382 \cdot 10^3 \cdot 6\,380^4}{11\,600 \cdot 10^6 \cdot 2,93 \cdot 10^8}$$

$$u_{inst,z,Q,i} = 2,42 \text{ mm}$$

$$u_{inst,y} = u_{inst,y,G} + u_{inst,y,Q,1} = 4,90 + 3,93 = 8,83 \text{ mm}$$

$$u_{inst,z} = u_{inst,z,G} + u_{inst,z,Q,1} + \psi_{0,i} \cdot u_{inst,z,Q,i}$$

$$u_{inst,z} = 6,93 + 5,54 + 0,6 \cdot 2,42 = 13,9 \text{ mm}$$

$$u_{inst} = \sqrt{u_{inst,y}^2 + u_{inst,z}^2} = \sqrt{8,83^2 + 13,9^2} = 16,5 \text{ mm}$$

$$u_{inst} \leq \frac{L}{300} = \frac{6\,380}{300} = 21,3 \text{ mm}$$

$$16,5 \text{ mm} < 21,3 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

4.2.6.3 KONEČNÝ PRŮHYB

$$k_{def} = 0,8$$

$$u_{fin,y,G} = u_{inst,y,G} \cdot (1 + k_{def}) = 4,90 \cdot (1 + 0,8) = 8,82 \text{ mm}$$

$$u_{fin,z,G} = u_{inst,z,G} \cdot (1 + k_{def}) = 6,93 \cdot (1 + 0,8) = 12,5 \text{ mm}$$

$$u_{fin,y,Q,1} = u_{inst,y,Q,1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 3,93 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 3,93 \text{ mm}$$

$$u_{fin,z,Q,1} = u_{inst,z,Q,1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 5,54 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 5,54 \text{ mm}$$

$$u_{fin,z,Q,i} = u_{inst,z,Q,i} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def})$$

$$u_{fin,z,Q,i} = 2,42 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,8) = 1,45 \text{ mm}$$

$$u_{fin,y} = u_{fin,y,G} + u_{fin,y,Q,1} = 8,82 + 3,93 = 12,8 \text{ mm}$$

$$u_{fin,z} = u_{fin,z,G} + u_{fin,z,Q,1} + u_{fin,z,Q,i}$$

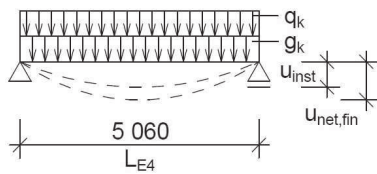
$$u_{fin,z} = 12,5 + 5,54 + 1,45 = 19,5 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = \sqrt{u_{fin,y}^2 + u_{fin,z}^2} = \sqrt{12,8^2 + 19,5^2} = 23,3 \text{ mm}$$

$$u_{fin} \leq \frac{L}{250} = \frac{6\,380}{250} = 25,5 \text{ mm}$$

$$23,3 \text{ mm} < 25,5 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



4.2.7 POSOUZENÍ – MSP – VAZNICE E4

vaznice E4

4.2.7.1 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{inst,y,G} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{y,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,247 \cdot 10^3 \cdot 5\,060^4}{11\,600 \cdot 10^6 \cdot 8,19 \cdot 10^7}$$

$$u_{inst,y,G} = 2,22 \text{ mm}$$

$$u_{inst,z,G} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{z,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,069 \cdot 10^3 \cdot 5\,060^4}{11\,600 \cdot 10^6 \cdot 1,84 \cdot 10^8}$$

$$u_{inst,z,G} = 4,28 \text{ mm}$$

4.2.7.2 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{inst,y,Q,1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{y,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,436 \cdot 10^3 \cdot 5\,060^4}{11\,600 \cdot 10^6 \cdot 8,19 \cdot 10^7}$$

$$u_{inst,y,Q,1} = 3,92 \text{ mm}$$

$$u_{inst,z,Q,1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{z,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,888 \cdot 10^3 \cdot 5\,060^4}{11\,600 \cdot 10^6 \cdot 1,84 \cdot 10^8}$$

$$u_{inst,z,Q,1} = 7,55 \text{ mm}$$

$$u_{inst,z,Q,i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{w_{z,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,382 \cdot 10^3 \cdot 5\,060^4}{11\,600 \cdot 10^6 \cdot 1,84 \cdot 10^8}$$

$$u_{inst,z,Q,i} = 1,53 \text{ mm}$$

$$u_{inst,y} = u_{inst,y,G} + u_{inst,y,Q,1} = 2,22 + 3,92 = 6,14 \text{ mm}$$

$$u_{inst,z} = u_{inst,z,G} + u_{inst,z,Q,1} + \psi_{0,i} \cdot u_{inst,z,Q,i}$$

$$u_{inst,z} = 4,28 + 7,55 + 0,6 \cdot 1,53 = 12,7 \text{ mm}$$

$$u_{inst} = \sqrt{u_{inst,y}^2 + u_{inst,z}^2} = \sqrt{6,14^2 + 12,7^2} = 14,1 \text{ mm}$$

$$u_{inst} \leq \frac{L}{300} = \frac{5\,060}{300} = 16,9 \text{ mm}$$

$$14,1 \text{ mm} < 16,9 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

4.2.7.3 KONEČNÝ PRŮHYB

$$k_{def} = 0,8$$

$$u_{fin,y,G} = u_{inst,y,G} \cdot (1 + k_{def}) = 2,22 \cdot (1 + 0,8) = 4,00 \text{ mm}$$

$$u_{fin,z,G} = u_{inst,z,G} \cdot (1 + k_{def}) = 4,28 \cdot (1 + 0,8) = 7,70 \text{ mm}$$

$$u_{fin,y,Q,1} = u_{inst,y,Q,1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 3,92 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 3,92 \text{ mm}$$

$$u_{fin,z,Q,1} = u_{inst,z,Q,1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 7,55 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 7,55 \text{ mm}$$

$$u_{fin,z,Q,i} = u_{inst,z,Q,i} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def})$$

$$u_{fin,z,Q,i} = 1,53 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,8) = 0,92 \text{ mm}$$

$$u_{fin,y} = u_{fin,y,G} + u_{fin,y,Q,1} = 4,00 + 3,92 = 7,92 \text{ mm}$$

$$u_{fin,z} = u_{fin,z,G} + u_{fin,z,Q,1} + u_{fin,z,Q,i}$$

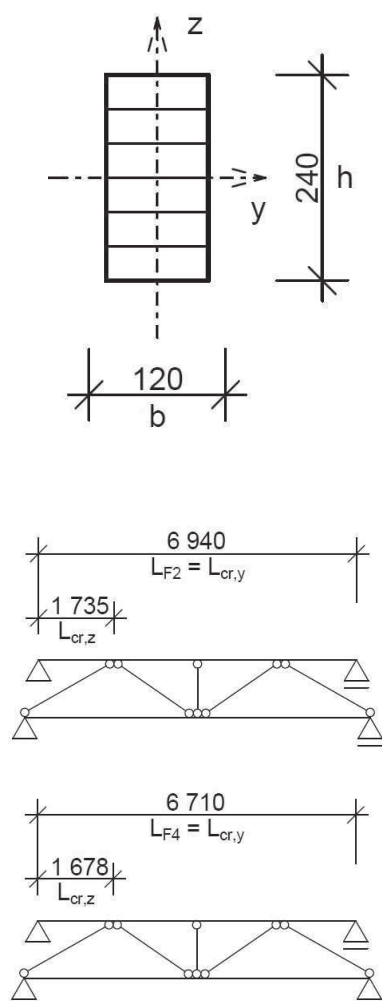
$$u_{fin,z} = 7,70 + 7,55 + 0,92 = 16,2 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = \sqrt{u_{fin,y}^2 + u_{fin,z}^2} = \sqrt{7,92^2 + 16,2^2} = 18,0 \text{ mm}$$

$$u_{fin} \leq \frac{L}{250} = \frac{5\,060}{250} = 20,2 \text{ mm}$$

$$18,0 \text{ mm} < 20,2 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



4.3 STĚNOVÉ VAZNICE

staticky budou působit jako nosníky osazené na plechy připevněné na žebra a podepírané uprostřed svislicemi a ve čtvrtinách diagonálami

4.3.1 GEOMETRIE

| | | vaznice F2 | vaznice F4 |
|-----------------------|-------|--|--------------|
| šířka | b | 120 mm | |
| výška | h | 240 mm | |
| plocha průřezu | A | 28 800 mm ² | |
| momenty setrvačnosti | I_y | 1,38 · 10 ⁸ mm ⁴ | |
| | I_z | 3,46 · 10 ⁷ mm ⁴ | |
| průřezové moduly | W_y | 1,15 · 10 ⁶ mm ³ | |
| | W_z | 5,76 · 10 ⁵ mm ³ | |
| poloměry setrvačnosti | i_y | 69,3 mm | |
| | i_z | 34,6 mm | |
| rozpětí | L | 6 940 mm | 6 710 mm |
| osová vzdálenost | B | 1 200 mm | 660 / 695 mm |

4.3.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|---------------------------------------|---------------------|
| rostlé dřevo | GL24h |
| třída provozu | 2 |
| třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| hodnota k_{mod} | 0,90 |
| souč. vlastnosti materiálu γ_M | 1,25 |

| | |
|---------------------------|--|
| návrhová hodnota pevnosti | $f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$ |
|---------------------------|--|

| | |
|----------------------------------|------------------------------|
| charakteristická pevnost v ohybu | $f_{m,k} = 24,0 \text{ MPa}$ |
|----------------------------------|------------------------------|

| | |
|--------------------------|------------------------------|
| návrhová pevnost v ohybu | $f_{m,d} = 17,3 \text{ MPa}$ |
|--------------------------|------------------------------|

| | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| charakteristická pevnost v tahu | $f_{t,0,k} = 16,5 \text{ MPa}$ |
|---------------------------------|--------------------------------|

| | |
|-------------------------|--------------------------------|
| návrhová pevnost v tahu | $f_{t,0,d} = 11,9 \text{ MPa}$ |
|-------------------------|--------------------------------|

| | |
|----------------------------------|--------------------------------|
| charakteristická pevnost v tlaku | $f_{c,0,k} = 24,0 \text{ MPa}$ |
|----------------------------------|--------------------------------|

| | |
|--------------------------|--------------------------------|
| návrhová pevnost v tlaku | $f_{c,0,d} = 17,3 \text{ MPa}$ |
|--------------------------|--------------------------------|

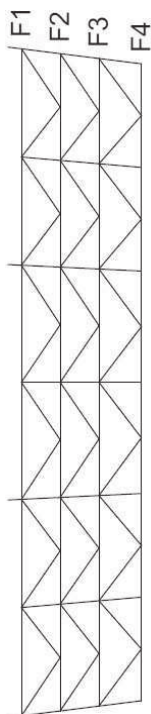
| | |
|-----------------------------------|------------------------------|
| charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 2,70 \text{ MPa}$ |
|-----------------------------------|------------------------------|

| | |
|---------------------------|------------------------------|
| návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 1,94 \text{ MPa}$ |
|---------------------------|------------------------------|

| | |
|------------------|------------------------------------|
| moduly pružnosti | $E_{0,mean} = 11\,600 \text{ MPa}$ |
|------------------|------------------------------------|

| | |
|--|---------------------------------|
| | $E_{0,05} = 9\,400 \text{ MPa}$ |
|--|---------------------------------|

| | |
|---------|-----------------------------|
| hustota | $\rho = 380 \text{ kg/m}^3$ |
|---------|-----------------------------|



4.3.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

4.3.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM

>>

příloha F.4.2

$$V_d = \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2}$$

| | návrhové vnitřní síly – maximální tlak | | | | | |
|----|--|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| F2 | - 5,782 | - 1,307 | 2,923 | 3,202 | 7,610 | - 0,418 |
| F4 | - 30,903 | - 2,281 | 0,515 | 2,338 | 1,185 | - 0,604 |

| | návrhové vnitřní síly – maximální tah | | | | | |
|----|---------------------------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| F2 | 29,069 | - 1,025 | - 0,388 | 1,096 | 0,000 | 0,000 |
| F4 | 12,108 | - 0,509 | - 1,896 | 1,963 | 4,748 | - 0,169 |

| | návrhové vnitřní síly – maximální posouvající síla | | | | | |
|----|--|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| F2 | 6,414 | - 1,025 | 5,847 | 5,936 | 0,000 | 0,000 |
| F4 | 6,932 | 0,165 | 4,067 | 4,070 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové vnitřní síly – maximální moment M _y | | | | | |
|----|---|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| F2 | - 2,668 | 1,205 | 0,009 | 1,205 | 10,153 | - 0,330 |
| F4 | - 5,096 | 0,763 | 0,003 | 0,763 | 6,738 | - 0,194 |

| | návrhové vnitřní síly – maximální moment M _z | | | | | |
|----|---|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| F2 | 6,336 | - 1,364 | 0,583 | 1,483 | 1,527 | - 0,433 |
| F4 | 3,409 | - 2,666 | - 0,515 | 2,715 | 1,298 | - 0,792 |

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \quad \tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}$$

| | návrhové napětí – maximální tlak | | | |
|----|----------------------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| | σ _{c,0,d} | τ _d | σ _{m,y,d} | σ _{m,z,d} |
| F2 | - 0,201 | 0,167 | 6,606 | 0,726 |
| F4 | - 1,073 | 0,122 | 1,029 | 1,049 |

| | návrhové napětí – maximální tah | | | |
|----|---------------------------------|----------|------------------|------------------|
| | $\sigma_{t,0,d}$ | τ_d | $\sigma_{m,y,d}$ | $\sigma_{m,z,d}$ |
| F2 | 1,009 | 0,057 | 0,000 | 0,000 |
| F4 | 0,420 | 0,102 | 4,122 | 0,293 |

| | návrhové napětí – maximální posouvající síla | | | |
|----|--|--------------|------------------|------------------|
| | $\sigma_{t,0,d}$ | τ_d | $\sigma_{m,y,d}$ | $\sigma_{m,z,d}$ |
| F2 | 0,223 | 0,309 | 0,000 | 0,000 |
| F4 | 0,241 | 0,212 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové napětí – maximální moment M_y | | | |
|----|--|----------|------------------|------------------|
| | $\sigma_{c,0,d}$ | τ_d | $\sigma_{m,y,d}$ | $\sigma_{m,z,d}$ |
| F2 | - 0,093 | 0,063 | 8,813 | 0,573 |
| F4 | - 0,177 | 0,040 | 5,849 | 0,337 |

| | návrhové napětí – maximální moment M_z | | | |
|----|--|----------|------------------|------------------|
| | $\sigma_{t,0,d}$ | τ_d | $\sigma_{m,y,d}$ | $\sigma_{m,z,d}$ |
| F2 | 0,220 | 0,077 | 1,326 | 0,752 |
| F4 | 0,118 | 0,141 | 1,127 | 1,375 |

4.3.5 POSOUZENÍ – MSÚ

4.3.5.1 KOMBINACE OHYBU A OSOVÉHO TAHU

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (1)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (2)$$

4.3.5.2 VZPĚR – VAZNICE F2

$\beta = 1,0$ >> prosté podepření

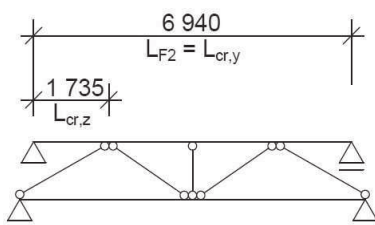
$$L_{cr,y} = L_{F2} \cdot \beta = 6\,940 \cdot 1,0 = 6\,940 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = \frac{L_{F2}}{4} \cdot \beta = \frac{6\,940}{4} \cdot 1,0 = 1\,735 \text{ mm}$$

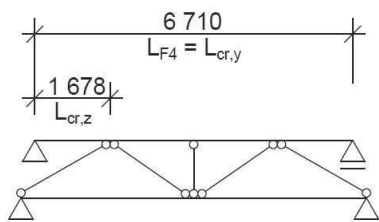
>> podepírané uprostřed svislicemi a ve čtvrtinách diagonálami

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6\,940}{69,3} = 100$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{1\,735}{34,6} = 50,1$$



$$\beta_c = 0,1 \text{ (pro LLD)}$$



$$\beta_c = 0,1 \text{ (pro LLD)}$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{100}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9400}} = 1,61$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{50,1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9400}} = 0,806$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,61 - 0,3) + 1,61^2) = 1,86$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (0,806 - 0,3) + 0,806^2) = 0,850$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,86 + \sqrt{1,86^2 - 1,61^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,358$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,850 + \sqrt{0,850^2 - 0,806^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,893$$

4.3.5.3 VZPĚR – VAZNICE F4

$$\beta = 1,0 \quad \gg \quad \text{prosté podepření}$$

$$L_{cr,y} = L_{F4} \cdot \beta = 6710 \cdot 1,0 = 6710 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = \frac{L_{F4}}{4} \cdot \beta = \frac{6710}{4} \cdot 1,0 = 1678 \text{ mm}$$

\gg podepírané uprostřed svislicemi a ve čtvrtinách diagonálami

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6710}{69,3} = 96,8$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{1678}{34,6} = 48,5$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{96,8}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9400}} = 1,56$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{48,5}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9400}} = 0,780$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,56 - 0,3) + 1,56^2) = 1,78$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (0,780 - 0,3) + 0,780^2) = 0,828$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,78 + \sqrt{1,78^2 - 1,56^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,379$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,828 + \sqrt{0,828^2 - 0,780^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,904$$

POSOUZENÍ

$$k_m = 0,7$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4)$$

4.3.5.4 SMYK

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (5)$$

| | podmínky | | | | |
|----|----------|-------|-------|-------|-------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| F2 | 0,085 | 0,085 | 0,548 | 0,396 | 0,159 |
| F4 | 0,285 | 0,219 | 0,379 | 0,267 | 0,109 |

VYHOVÍ

4.3.5.5 KLOPENÍ

$$t = b = 120 \text{ mm}$$

$$a = h = 240 \text{ mm}$$

$$I_{tor} = \left(1 - 0,63 \cdot \frac{t}{a}\right) \cdot \frac{t^3 \cdot a}{3} = \left(1 - 0,63 \cdot \frac{120}{240}\right) \cdot \frac{120^3 \cdot 240}{3}$$

$$I_{tor} = 9,47 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$G_{0,05} = 583 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{9\,400 \cdot 3,46 \cdot 10^7 \cdot 583 \cdot 9,47 \cdot 10^7}}{6\,940 \cdot 1,15 \cdot 10^6} = 52,7 \text{ MPa}$$

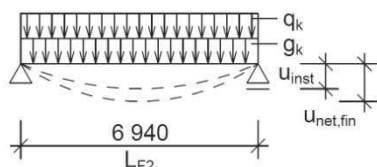
$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{52,7}} = 0,675 < 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

KLOPENÍ NENASTANE

4.3.6 POSOUZENÍ – MSP

vaznice F2

hodnoty převzaty z programu RFEM >> příloha F.4.3



$$u_{inst,G} = 4,5 \text{ mm}$$

4.3.6.1 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ

4.3.6.2 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{w,z} = 18,1 \text{ mm} \quad \text{ZS4 – vítr západní}$$

$$u_{s,na} = 0,7 \text{ mm} \quad \text{ZS3 – sníh navátý}$$

$$u_{inst,Q,1} = u_{w,z} = 18,1 \text{ mm}$$

$$u_{inst,Q,i} = u_{s,n} = 0,7 \text{ mm}$$

$$u_{inst} = u_{inst,G} + u_{inst,Q,1} + \psi_{0,i} \cdot u_{inst,Q,i}$$

$$u_{inst,z} = 4,5 + 18,1 + 0,5 \cdot 0,7 = 23,0 \text{ mm}$$

$$u_{inst} \leq \frac{L}{300} = \frac{6940}{300} = 23,1 \text{ mm}$$

$$23,0 \text{ mm} < 23,1 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

4.3.6.3 KONEČNÝ PRŮHYB

$$k_{def} = 0,8$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 4,5 \cdot (1 + 0,8) = 8,1 \text{ mm}$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 18,1 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 18,1 \text{ mm}$$

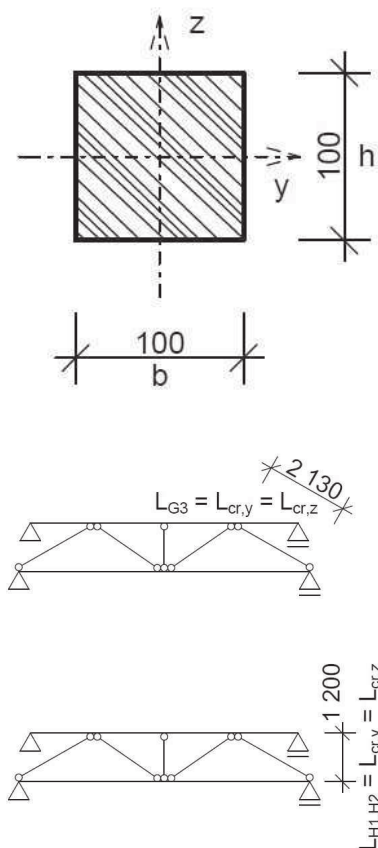
$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def}) = 0,7 \cdot (0,5 + 0 \cdot 0,8) = 0,35 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q,1} + u_{fin,Q,i} = 8,1 + 18,1 + 0,35 = 22,8 \text{ mm}$$

$$u_{fin} \leq \frac{L}{250} = \frac{6940}{250} = 27,8 \text{ mm}$$

$$26,6 \text{ mm} < 27,8 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



4.4 STĚNOVÉ DIAGONÁLY A SVISLICE

staticky budou působit jako nosníky osazené na plechy připevněné na stěnové vaznice a žebra a společně se stěnovými vaznicemi tak budou vytvářet příhradový systém

4.4.1 GEOMETRIE

| | | diagonála G3 | svislíce H1, H2 |
|-----------------------|-------|--|-----------------|
| šířka | b | 100 mm | |
| výška | h | 100 mm | |
| plocha průřezu | A | 10 000 mm ² | |
| momenty setrvačnosti | I_y | 8,33 · 10 ⁶ mm ⁴ | |
| | I_z | 8,33 · 10 ⁶ mm ⁴ | |
| průřezové moduly | W_y | 1,67 · 10 ⁵ mm ³ | |
| | W_z | 1,67 · 10 ⁵ mm ³ | |
| poloměry setrvačnosti | i_y | 28,9 mm | |
| | i_z | 28,9 mm | |
| rozpětí | L | 2 130 mm | 1 200 mm |

4.4.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|---------------------------------------|---------------------|
| rostlé dřevo | C18 |
| třída provozu | 2 |
| třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| hodnota k_{mod} | 0,90 |
| souč. vlastnosti materiálu γ_M | 1,30 |

| | |
|---------------------------|--|
| návrhová hodnota pevnosti | $f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$ |
|---------------------------|--|

| | |
|----------------------------------|------------------------------|
| charakteristická pevnost v ohybu | $f_{m,k} = 18,0 \text{ MPa}$ |
|----------------------------------|------------------------------|

| | |
|--------------------------|------------------------------|
| návrhová pevnost v ohybu | $f_{m,d} = 12,5 \text{ MPa}$ |
|--------------------------|------------------------------|

| | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| charakteristická pevnost v tahu | $f_{t,0,k} = 11,0 \text{ MPa}$ |
|---------------------------------|--------------------------------|

| | |
|-------------------------|-------------------------------|
| návrhová pevnost v tahu | $f_{t,0,d} = 7,6 \text{ MPa}$ |
|-------------------------|-------------------------------|

| | |
|----------------------------------|--------------------------------|
| charakteristická pevnost v tlaku | $f_{c,0,k} = 18,0 \text{ MPa}$ |
|----------------------------------|--------------------------------|

| | |
|--------------------------|--------------------------------|
| návrhová pevnost v tlaku | $f_{c,0,d} = 12,5 \text{ MPa}$ |
|--------------------------|--------------------------------|

| | |
|-----------------------------------|------------------------------|
| charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 3,40 \text{ MPa}$ |
|-----------------------------------|------------------------------|

| | |
|---------------------------|------------------------------|
| návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 2,35 \text{ MPa}$ |
|---------------------------|------------------------------|

| | |
|------------------|-----------------------------------|
| moduly pružnosti | $E_{0,mean} = 9\,000 \text{ MPa}$ |
|------------------|-----------------------------------|

| |
|---------------------------------|
| $E_{0,05} = 6\,000 \text{ MPa}$ |
|---------------------------------|

| | |
|---------|-----------------------------|
| hustota | $\rho = 320 \text{ kg/m}^3$ |
|---------|-----------------------------|

4.4.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

4.4.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM >> příloha F.4.4

$$V_d = \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2}$$

| | návrhové vnitřní síly – maximální tlak | | | | | |
|----|--|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| G3 | - 19,366 | 0,042 | 0,012 | 0,044 | 0,000 | 0,000 |
| H2 | - 5,216 | 0,000 | 0,007 | 0,007 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové vnitřní síly – maximální tah | | | | | |
|----|---------------------------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| G3 | 10,574 | - 0,041 | - 0,012 | 0,043 | 0,000 | 0,000 |
| H1 | 4,013 | 0,000 | - 0,007 | 0,007 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové vnitřní síly – maximální posouvající síla | | | | | |
|----|--|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | N _d | V _{y,d} | V _{z,d} | V _d | M _{y,d} | M _{z,d} |
| G3 | - 10,815 | 0,042 | 0,012 | 0,044 | 0,000 | 0,000 |
| H1 | 1,120 | 0,000 | 0,007 | 0,007 | 0,000 | 0,000 |

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \quad \tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}$$

| | návrhové napětí – maximální tlak | | | |
|----|----------------------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| | σ _{c,0,d} | τ _d | σ _{m,y,d} | σ _{m,z,d} |
| G3 | - 1,937 | 0,007 | 0,000 | 0,000 |
| H2 | - 0,522 | 0,001 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové napětí – maximální tah | | | |
|----|---------------------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| | σ _{t,0,d} | τ _d | σ _{m,y,d} | σ _{m,z,d} |
| G3 | 1,057 | 0,006 | 0,000 | 0,000 |
| H1 | 0,401 | 0,001 | 0,000 | 0,000 |

| | návrhové napětí – maximální posouvající síla | | | |
|----|--|----------------|--------------------|--------------------|
| | σ _{c,0,d} | τ _d | σ _{m,y,d} | σ _{m,z,d} |
| G3 | - 1,082 | 0,007 | 0,000 | 0,000 |
| H1 | 0,112 | 0,001 | 0,000 | 0,000 |

4.4.5 POSOUZENÍ – MSÚ**4.4.5.1 TAH ROVNOBĚŽNĚ S VLÁKNY**

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1 \quad (1)$$

4.4.5.2 VZPĚR – DIAGONÁLA G3

$$\beta = 1,0 \quad \gg \quad \text{prosté podepření}$$

$$L_{cr,yz} = L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{G3} \cdot \beta = 2\,130 \cdot 1,0 = 2\,130 \text{ mm}$$

$$\lambda_{yz} = \frac{L_{cr,yz}}{i_{yz}} = \frac{2\,130}{28,9} = 73,7$$

$$\lambda_{rel,yz} = \frac{\lambda_{yz}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{73,7}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{18}{6\,000}} = 1,28$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,yz} - 0,3) + \lambda_{rel,yz}^2)$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,28 - 0,3) + 1,28^2) = 1,42$$

$$k_{c,yz} = \frac{1}{k_{yz} + \sqrt{k_{yz}^2 - \lambda_{rel,yz}^2}} = \frac{1}{1,42 + \sqrt{1,42^2 - 1,28^2}}$$

$$k_{c,yz} = 0,491$$

4.4.5.3 VZPĚR – SVISLICE H1, H2

$$\beta = 1,0 \quad \gg \quad \text{prosté podepření}$$

$$L_{cr,yz} = L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{H1,H2} \cdot \beta = 1\,200 \cdot 1,0 = 1\,200 \text{ mm}$$

$$\lambda_{yz} = \frac{L_{cr,yz}}{i_{yz}} = \frac{1\,200}{28,9} = 41,5$$

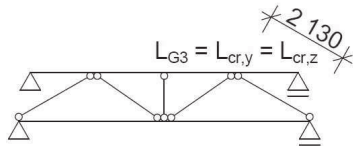
$$\lambda_{rel,yz} = \frac{\lambda_{yz}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{41,5}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{18}{6\,000}} = 0,724$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,yz} - 0,3) + \lambda_{rel,yz}^2)$$

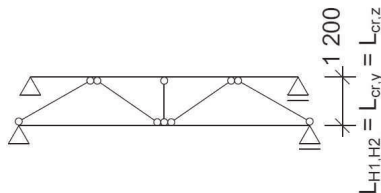
$$k_{yz} = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (0,724 - 0,3) + 0,724^2) = 0,804$$

$$k_{c,yz} = \frac{1}{k_{yz} + \sqrt{k_{yz}^2 - \lambda_{rel,yz}^2}} = \frac{1}{0,804 + \sqrt{0,804^2 - 0,724^2}}$$

$$k_{c,yz} = 0,867$$



$$\beta_c = 0,2 \text{ (pro rostlé dřevo)}$$



$$\beta_c = 0,2 \text{ (pro rostlé dřevo)}$$

POSOUZENÍ

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (2)$$

4.4.5.4 SMYK

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (3)$$

| | podmínky | | |
|--------|----------|-------|-------|
| | (1) | (2) | (3) |
| G3 | 0,139 | 0,316 | 0,003 |
| H1, H2 | 0,053 | 0,048 | 0,001 |

VYHOVÍ

4.4.5.5 KLOPENÍ

$$\sigma_{m,crit,G3} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 100^2}{100 \cdot 2130} \cdot 6000 = 220 \text{ MPa}$$

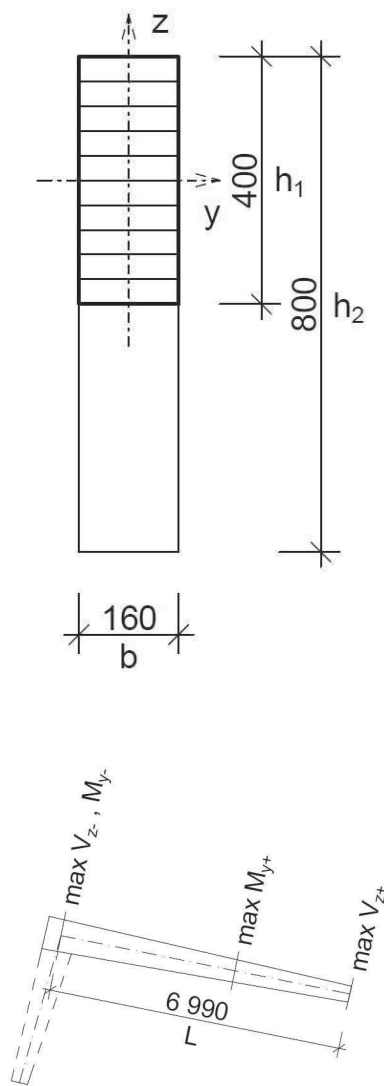
$$\sigma_{m,crit,H1,H2} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 100^2}{100 \cdot 1200} \cdot 6000 = 390 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,G3}}} = \sqrt{\frac{18}{220}} = 0,286 < 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

KLOPENÍ NENASTANE

4.4.6 POSOUZENÍ – MSP

pozn. posouzeno v rámci celé vaznice >> viz 4.3.6



4.5 STŘEŠNÍ ŽEBRA

staticky budou působit jako součásti rámu, na jedné straně spojené rámovými spoji se stěnovými žebry a na druhé straně osazené pomocí čepových spojů na kotevní bloky

4.5.1 GEOMETRIE

| | | max V_{z+} | max M_{y+} | max V_{z-} , M_{y-} |
|-----------------------|-------|--|--|--|
| šířka | b | 160 mm | 160 mm | 160 mm |
| výška | h | 400 mm | 550 mm | 780 mm |
| plocha průřezu | A | 64 000 mm ² | 88 000 mm ² | 124 800 mm ² |
| momenty setrvačnosti | I_y | 8,53 · 10 ⁸ mm ⁴ | 2,22 · 10 ⁹ mm ⁴ | 6,33 · 10 ⁹ mm ⁴ |
| | I_z | 1,37 · 10 ⁸ mm ⁴ | 1,88 · 10 ⁸ mm ⁴ | 2,66 · 10 ⁸ mm ⁴ |
| průřezové moduly | W_y | 4,27 · 10 ⁶ mm ³ | 8,07 · 10 ⁶ mm ³ | 1,62 · 10 ⁷ mm ³ |
| | W_z | 1,71 · 10 ⁶ mm ³ | 2,35 · 10 ⁶ mm ³ | 3,33 · 10 ⁶ mm ³ |
| poloměry setrvačnosti | i_y | 116 mm | 159 mm | 225 mm |
| | i_z | 46,2 mm | 46,2 mm | 46,2 mm |
| rozpětí | L | 6 990 mm | | |

4.5.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|---------------------------------------|---------------------|
| rostlé dřevo | GL24h |
| třída provozu | 2 |
| třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| hodnota k_{mod} | 0,90 |
| souč. vlastnosti materiálu γ_M | 1,25 |

| | |
|---------------------------|--|
| návrhová hodnota pevnosti | $f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$ |
|---------------------------|--|

| | |
|----------------------------------|------------------------------|
| charakteristická pevnost v ohybu | $f_{m,k} = 24,0 \text{ MPa}$ |
|----------------------------------|------------------------------|

| | |
|--------------------------|------------------------------|
| návrhová pevnost v ohybu | $f_{m,d} = 17,3 \text{ MPa}$ |
|--------------------------|------------------------------|

| | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| charakteristická pevnost v tahu | $f_{t,0,k} = 16,5 \text{ MPa}$ |
|---------------------------------|--------------------------------|

| | |
|-------------------------|--------------------------------|
| návrhová pevnost v tahu | $f_{t,0,d} = 11,9 \text{ MPa}$ |
|-------------------------|--------------------------------|

| | |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| charakteristická pevnost v tahu ⊥ | $f_{t,90,k} = 0,400 \text{ MPa}$ |
|-----------------------------------|----------------------------------|

| | |
|---------------------------|----------------------------------|
| návrhová pevnost v tahu ⊥ | $f_{t,90,d} = 0,288 \text{ MPa}$ |
|---------------------------|----------------------------------|

| | |
|----------------------------------|--------------------------------|
| charakteristická pevnost v tlaku | $f_{c,0,k} = 24,0 \text{ MPa}$ |
|----------------------------------|--------------------------------|

| | |
|--------------------------|--------------------------------|
| návrhová pevnost v tlaku | $f_{c,0,d} = 17,3 \text{ MPa}$ |
|--------------------------|--------------------------------|

| | |
|------------------------------------|---------------------------------|
| charakteristická pevnost v tlaku ⊥ | $f_{c,90,k} = 2,70 \text{ MPa}$ |
|------------------------------------|---------------------------------|

| | |
|----------------------------|---------------------------------|
| návrhová pevnost v tlaku ⊥ | $f_{c,90,d} = 1,94 \text{ MPa}$ |
|----------------------------|---------------------------------|

| | |
|-----------------------------------|---|
| charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 2,70 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 1,94 \text{ MPa}$ |
| moduly pružnosti | $E_{0,mean} = 11\,600 \text{ MPa}$ $E_{0,05} = 9\,400 \text{ MPa}$ |
| hustota | $\rho = 380 \text{ kg/m}^3$ |

4.5.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

4.5.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM >> příloha F.4.5

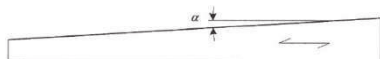
| | N_d | $V_{y,d}$ | $V_{z,d}$ | $M_{y,d}$ | $M_{z,d}$ |
|--|-----------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------|
| maximální tlak (B02) | - 70,375 | 0,498 | 46,692 | 0,000 | 0,087 |
| maximální tah (B01) | 8,769 | - 1,189 | 0,458 | 2,052 | 0,297 |
| maximální posouvající síla $V_z +$ (B02) | - 59,463 | 0,662 | 60,957 | 0,000 | 0,133 |
| maximální posouvající síla $V_z -$ (B02) | - 31,077 | 0,458 | - 74,745 | - 98,196 | 0,111 |
| maximální moment $M_y +$ (B02) | - 48,285 | - 0,156 | 13,617 | 81,068 | - 0,235 |
| maximální moment $M_y -$ (B02) | - 31,077 | 0,458 | - 74,745 | - 98,196 | 0,111 |
| maximální moment M_z (B02) | - 11,593 | - 0,201 | - 13,219 | 12,600 | 2,945 |

4.5.5 POSOUZENÍ – MSÚ

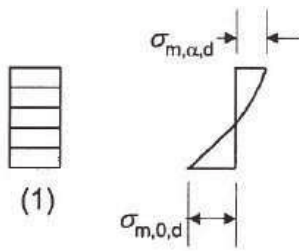
4.5.5.1 NAPĚTÍ V OHYBU ROVNOBĚŽNĚ S OKRAJI NOSNÍKU

maximální moment M_{y+}

pozn. pro napětí v tahu rovnoběžně s okrajem náběhu



$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{0,75 \cdot f_{v,d}} \cdot \operatorname{tg} \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{t,90,d}} \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha \right)^2}}$$



$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{17,3}{0,75 \cdot 1,94} \cdot \operatorname{tg} 3,1\right)^2 + \left(\frac{17,3}{0,288} \cdot \operatorname{tg}^2 3,1\right)^2}}$$

$$k_{m,\alpha} = 0,832$$

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 81,068 \cdot 10^6}{160 \cdot 550^2} = 10,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d} = 0,832 \cdot 17,3 = 14,4 \text{ MPa}$$

$$10,0 < 14,4$$

VYHOVÍ

maximální moment M_y .

pozn. pro napětí v tlaku rovnoběžně s okrajem náběhu

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5 \cdot f_{v,d}} \cdot \operatorname{tg} \alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha\right)^2}}$$

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{17,3}{1,5 \cdot 1,94} \cdot \operatorname{tg} 3,1\right)^2 + \left(\frac{17,3}{1,94} \cdot \operatorname{tg}^2 3,1\right)^2}}$$

$$k_{m,\alpha} = 0,952$$

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 98,196 \cdot 10^6}{160 \cdot 780^2} = 5,99 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d} = 0,952 \cdot 17,3 = 16,5 \text{ MPa}$$

$$6,05 < 16,5$$

VYHOVÍ

4.5.5.2 KOMBINACE OHYBU A OSOVÉHO TAHU

maximální tah

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{8,769 \cdot 10^3}{124\,800} = 0,070 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{2,052 \cdot 10^6}{1,62 \cdot 10^7} = 0,127 \text{ MPa}$$

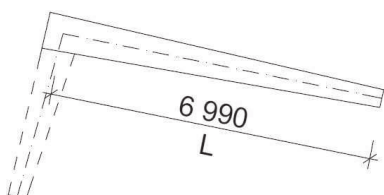
$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,297 \cdot 10^6}{3,33 \cdot 10^6} = 0,089 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (1)$$

$$\frac{0,070}{11,9} + 0,7 \cdot \frac{0,127}{0,832 \cdot 17,3} + \frac{0,089}{17,3} \leq 1$$

$$0,017 < 1$$

VYHOVÍ



$$\beta_c = 0,1 \text{ (pro LLD)}$$

4.5.5.3 VZPĚR – V ROVINĚ ŽEBRA

$\beta = 4,0$ >> vzpěrná délka odhadnuta modulem RF-STABILITY
>> viz prut č. 3 >> příloha F.4.9

$$L_{cr,y} = L \cdot \beta = 6\,990 \cdot 4,0 = 27\,960 \text{ mm}$$

POSOUZENÍ

maximální moment M_{y+}

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{27\,960}{159} = 176$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{176}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9\,400}} = 2,83$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (2,83 - 0,3) + 2,83^2) = 4,63$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{4,63 + \sqrt{4,63^2 - 2,83^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,121$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{48\,285 \cdot 10^3}{88\,000} = 0,549 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{81\,068 \cdot 10^6}{8,07 \cdot 10^6} = 10,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,235 \cdot 10^6}{2,35 \cdot 10^6} = 0,100 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,549}{0,121 \cdot 17,3} + \frac{10,0}{0,832 \cdot 17,3} + 0,7 \cdot \frac{0,100}{17,3} \leq 1$$

$$0,961 < 1$$

VYHOVÍ

maximální moment M_{y-}

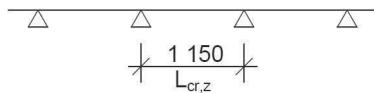
$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{27\,960}{225} = 124$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{124}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9\,400}} = 1,99$$

$$\beta_c = 0,1 \text{ (pro LLD)}$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,99 - 0,3) + 1,99^2) = 2,56$$



$$\beta_c = 0,1 \text{ (pro LLD)}$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{2,56 + \sqrt{2,56^2 - 1,99^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,240$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{31,077 \cdot 10^3}{124\,800} = 0,249 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{98,196 \cdot 10^6}{1,62 \cdot 10^7} = 6,06 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,111 \cdot 10^6}{3,33 \cdot 10^6} = 0,033 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,249}{0,240 \cdot 17,3} + \frac{6,06}{0,952 \cdot 17,3} + 0,7 \cdot \frac{0,033}{17,3} \leq 1$$

$$0,429 < 1$$

VYHOVÍ

4.5.5.4 VZPĚR – Z ROVINY ŽEBRA

$$L_{cr,z} = 1\,150 \text{ mm} \gg \text{vybočení je bráněno vaznicemi}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{1\,150}{46,2} = 24,9$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{24,9}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9\,400}} = 0,400$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (0,400 - 0,3) + 0,400^2) = 0,585$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,585 + \sqrt{0,585^2 - 0,400^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,988$$

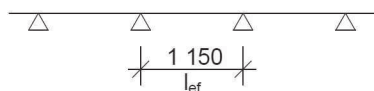
POSOUZENÍ

maximální moment M_z

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{11,593 \cdot 10^3}{88\,000} = 0,132 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{12,600 \cdot 10^6}{8,07 \cdot 10^6} = 1,56 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{2,945 \cdot 10^6}{2,35 \cdot 10^6} = 1,25 \text{ MPa}$$



$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,132}{0,988 \cdot 17,3} + 0,7 \cdot \frac{1,56}{0,832 \cdot 17,3} + \frac{1,25}{17,3} \leq 1$$

$$0,156 < 1$$

VYHOVÍ

4.5.5.5 KLOPENÍ – HORNÍ VLÁKNA

$$l_{ef} = 1\,150\,mm \gg \text{klopení je bráněno vaznicemi}$$

pozn. posouzení v místě maximálního momentu M_{y+}

$$t = b = 160\,mm$$

$$a = h = 550\,mm$$

$$I_{tor} = \left(1 - 0,63 \cdot \frac{t}{a}\right) \cdot \frac{t^3 \cdot a}{3} = \left(1 - 0,63 \cdot \frac{160}{550}\right) \cdot \frac{160^3 \cdot 550}{3}$$

$$I_{tor} = 6,13 \cdot 10^8\,mm^4$$

$$G_{0,05} = 583\,MPa$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{9\,400 \cdot 1,88 \cdot 10^8 \cdot 583 \cdot 6,13 \cdot 10^8}}{1\,150 \cdot 8,07 \cdot 10^6} = 269\,MPa$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{269}} = 0,299 < 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

KLOPENÍ NENASTANE

4.5.5.6 KLOPENÍ – DOLNÍ VLÁKNA

$$l_{ef} = 1\,725\,mm \gg \text{vzdálenost míst zabezpečených proti vzniku tlaku v dolních vláknech}$$

pozn. posouzení v místě maximálního momentu M_{y-}

$$t = b = 160\,mm$$

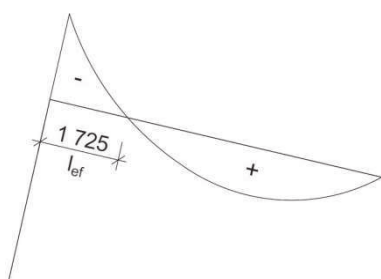
$$a = h = 780\,mm$$

$$I_{tor} = \left(1 - 0,63 \cdot \frac{t}{a}\right) \cdot \frac{t^3 \cdot a}{3} = \left(1 - 0,63 \cdot \frac{160}{780}\right) \cdot \frac{160^3 \cdot 780}{3}$$

$$I_{tor} = 9,27 \cdot 10^8\,mm^4$$

$$G_{0,05} = 583\,MPa$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y}$$



$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{9\,400 \cdot 2,66 \cdot 10^8 \cdot 583 \cdot 9,27 \cdot 10^8}}{1\,725 \cdot 1,62 \cdot 10^7} = 131 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{131}} = 0,428 < 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

KLOPENÍ NENASTANE

4.5.5.7 SMYKmaximální posouvající síla V_{z+}

$$V_d = \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2} = \sqrt{0,662^2 + 60,957^2} = 60,961 \text{ KN}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{60,961 \cdot 10^3}{64\,000} = 1,43 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$1,43 < 1,94$$

VYHOVÍ

maximální posouvající síla V_{z-}

$$V_d = \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2} = \sqrt{0,458^2 + (-74,745)^2} = 74,746 \text{ KN}$$

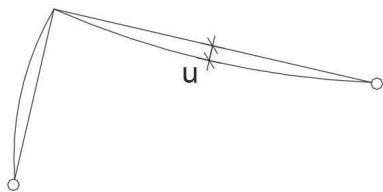
$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{74,746 \cdot 10^3}{124\,800} = 0,898 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$0,898 < 1,94$$

VYHOVÍ



4.5.6 POSOUZENÍ – MSP

střešní žebro B02

hodnoty převzaty z programu RFEM >> příloha F.4.6

4.5.6.1 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{inst,G} = 4,00 \text{ mm}$$

4.5.6.2 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{s,na} = 5,90 \text{ mm} \quad \text{ZS3 – sníh navátý}$$

$$u_{w,z} = 1,40 \text{ mm} \quad \text{ZS6 – vítr východní – tlak}$$

$$u_{inst,Q,1} = u_{s,na} = 5,90 \text{ mm}$$

$$u_{inst,Q,i} = u_{w,z} = 1,40 \text{ mm}$$

$$u_{inst} = u_{inst,G} + u_{inst,Q,1} + \psi_{0,i} \cdot u_{inst,Q,i}$$

$$u_{inst} = 4,00 + 5,90 + 0,6 \cdot 1,40 = 10,7 \text{ mm}$$

$$u_{inst} \leq \frac{L}{500} = \frac{6\,990}{500} = 14,0 \text{ mm}$$

$$10,7 \text{ mm} < 14,0 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

4.5.6.3 KONEČNÝ PRŮHYB

$$k_{def} = 0,8$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 4,00 \cdot (1 + 0,8) = 7,20 \text{ mm}$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 5,90 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 5,90 \text{ mm}$$

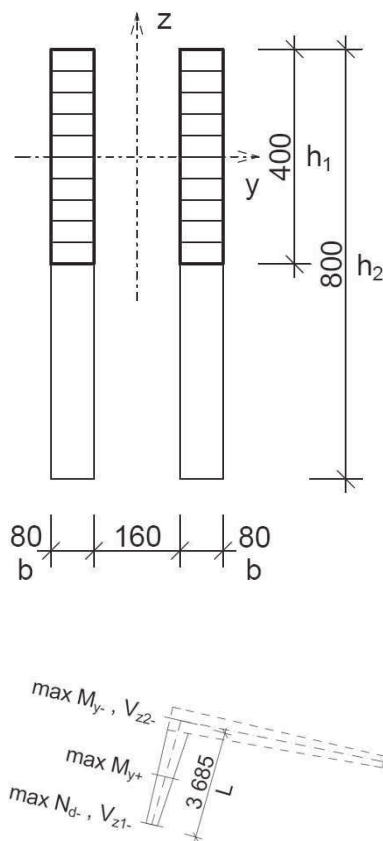
$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def}) = 1,40 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,8) = 0,84 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q,1} + u_{fin,Q,i} = 7,20 + 5,90 + 0,84 = 13,9 \text{ mm}$$

$$u_{fin} \leq \frac{L}{350} = \frac{6\,990}{350} = 20,0 \text{ mm}$$

$$13,9 \text{ mm} < 20,0 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



4.6 STĚNOVÁ ŽEBRA

staticky budou působit jako součásti rámu, na jedné straně spojené rámovými spoji se střešními žebry a na druhé straně osazené pomocí čepových spojů na betonové patky

4.6.1 GEOMETRIE

| | | max N_{d-} , V_{z1-} | max M_{y+} | max M_{y-} , V_{z2-} |
|-----------------------|-------|--|--|--|
| šířka | b | 2 x 80 mm | 2 x 80 mm | 2 x 80 mm |
| výška | h | 400 mm | 560 mm | 760 mm |
| plocha průřezu | A | 64 000 mm ² | 89 600 mm ² | 121 600 mm ² |
| momenty setrvačnosti | I_y | 8,53 · 10 ⁸ mm ⁴ | 2,34 · 10 ⁹ mm ⁴ | 5,85 · 10 ⁹ mm ⁴ |
| | I_z | 9,56 · 10 ⁸ mm ⁴ | 1,34 · 10 ⁹ mm ⁴ | 1,82 · 10 ⁹ mm ⁴ |
| průřezové moduly | W_y | 4,27 · 10 ⁶ mm ³ | 8,36 · 10 ⁶ mm ³ | 1,54 · 10 ⁷ mm ³ |
| | W_z | 5,97 · 10 ⁶ mm ³ | 8,36 · 10 ⁶ mm ³ | 1,13 · 10 ⁷ mm ³ |
| poloměry setrvačnosti | i_y | 116 mm | 162 mm | 219 mm |
| | i_z | 122 mm | 122 mm | 122 mm |
| rozpětí | L | 3 685 mm | | |

4.6.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|---------------------------------------|---------------------|
| rostlé dřevo | GL24h |
| třída provozu | 2 |
| třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| hodnota k_{mod} | 0,90 |
| souč. vlastnosti materiálu γ_M | 1,25 |

$$\text{návrhová hodnota pevnosti} \quad f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$$

$$\text{charakteristická pevnost v ohybu} \quad f_{m,k} = 24,0 \text{ MPa}$$

$$\text{návrhová pevnost v ohybu} \quad f_{m,d} = 17,3 \text{ MPa}$$

$$\text{charakteristická pevnost v tahu } \parallel \quad f_{t,0,k} = 16,5 \text{ MPa}$$

$$\text{návrhová pevnost v tahu } \parallel \quad f_{t,0,d} = 11,9 \text{ MPa}$$

$$\text{charakteristická pevnost v tahu } \perp \quad f_{t,90,k} = 0,400 \text{ MPa}$$

$$\text{návrhová pevnost v tahu } \perp \quad f_{t,90,d} = 0,288 \text{ MPa}$$

$$\text{charakteristická pevnost v tlaku } \parallel \quad f_{c,0,k} = 24,0 \text{ MPa}$$

$$\text{návrhová pevnost v tlaku } \parallel \quad f_{c,0,d} = 17,3 \text{ MPa}$$

$$\text{charakteristická pevnost v tlaku } \perp \quad f_{c,90,k} = 2,70 \text{ MPa}$$

$$\text{návrhová pevnost v tlaku } \perp \quad f_{c,90,d} = 1,94 \text{ MPa}$$

| | |
|-----------------------------------|---|
| charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 2,70 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 1,94 \text{ MPa}$ |
| moduly pružnosti | $E_{0,mean} = 11\,600 \text{ MPa}$ $E_{0,05} = 9\,400 \text{ MPa}$ |
| hustota | $\rho = 380 \text{ kg/m}^3$ |

4.6.3 ZATÍŽENÍ

zadáno prostřednictvím programu RFEM

4.6.4 VNITŘNÍ SÍLY

hodnoty převzaty z programu RFEM >> příloha F.4.7

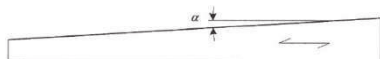
| | N_d | $V_{y,d}$ | $V_{z,d}$ | $M_{y,d}$ | $M_{z,d}$ |
|--|------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| maximální tlak (C02) | - 121,132 | - 0,518 | - 21,174 | 0,000 | 0,016 |
| maximální tah (C01) | 1,024 | 0,339 | 6,034 | 2,948 | - 0,131 |
| maximální posouvající síla Vz1 - (C02) | - 121,132 | - 0,518 | - 21,174 | 0,000 | 0,016 |
| maximální posouvající síla Vz2 - (C02) | - 59,096 | 0,101 | - 33,865 | - 74,982 | - 0,045 |
| maximální moment My + (C02) | - 28,892 | - 0,208 | 5,579 | 11,890 | 0,026 |
| maximální moment My - (C02) | - 82,738 | 0,165 | - 31,419 | - 94,417 | - 0,063 |
| maximální moment Mz (C03) | - 68,140 | 3,190 | - 14,322 | - 5,234 | - 1,237 |

4.6.5 POSOUZENÍ – MSÚ

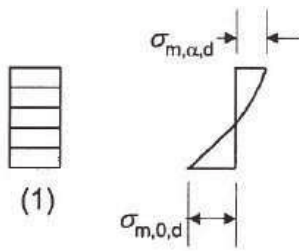
4.6.5.1 NAPĚTÍ V OHYBU ROVNOBĚŽNĚ S OKRAJÍ NOSNÍKU

maximální moment M_{y+}

pozn. pro napětí v tahu rovnoběžně s okrajem náběhu



$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{0,75 \cdot f_{v,d}} \cdot \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{t,90,d}} \cdot \tan^2 \alpha \right)^2}}$$



$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{17,3}{0,75 \cdot 1,94} \cdot \operatorname{tg} 5,6 \right)^2 + \left(\frac{17,3}{0,288} \cdot \operatorname{tg}^2 5,6 \right)^2}}$$

$$k_{m,\alpha} = 0,609$$

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 11,890 \cdot 10^6}{2 \cdot 80 \cdot 560^2} = 1,42 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d} = 0,609 \cdot 17,3 = 10,5 \text{ MPa}$$

$$1,42 < 10,5$$

VYHOVÍ

maximální moment M_y .

pozn. pro napětí v tlaku rovnoběžně s okrajem náběhu

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5 \cdot f_{v,d}} \cdot \operatorname{tg} \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha \right)^2}}$$

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{17,3}{1,5 \cdot 1,94} \cdot \operatorname{tg} 5,6 \right)^2 + \left(\frac{17,3}{1,94} \cdot \operatorname{tg}^2 5,6 \right)^2}}$$

$$k_{m,\alpha} = 0,862$$

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 94,417 \cdot 10^6}{2 \cdot 80 \cdot 760^2} = 6,13 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d} = 0,862 \cdot 17,3 = 14,9 \text{ MPa}$$

$$6,13 < 14,9$$

VYHOVÍ

4.6.5.2 KOMBINACE OHYBU A OSOVÉHO TAHU

maximální tah

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{1,024 \cdot 10^3}{121\,600} = 0,008 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{2,948 \cdot 10^6}{1,54 \cdot 10^7} = 0,191 \text{ MPa}$$

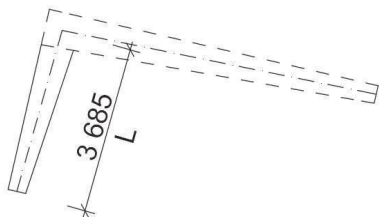
$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,131 \cdot 10^6}{1,13 \cdot 10^7} = 0,012 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (1)$$

$$\frac{0,008}{11,9} + \frac{0,191}{0,609 \cdot 17,3} + 0,7 \cdot \frac{0,012}{17,3} \leq 1$$

$$0,019 < 1$$

VYHOVÍ



$$\beta_c = 0,1 \text{ (pro LLD)}$$

4.6.5.3 VZPĚR – V ROVINĚ ŽEBRA

$\beta = 5,0$ >> vzpěrná délka odhadnuta modulem RF-STABILITY
>> viz prut č. 4 >> příloha F.4.9

$$L_{cr,y} = L \cdot \beta = 3\,685 \cdot 5,0 = 18\,425 \text{ mm}$$

POSOUZENÍ

maximální moment M_{y+}

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{18\,425}{162} = 114$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{114}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9\,400}} = 1,83$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,83 - 0,3) + 1,83^2) = 2,25$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{2,25 + \sqrt{2,25^2 - 1,83^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,281$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{28,892 \cdot 10^3}{89\,600} = 0,322 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{11,890 \cdot 10^6}{8,36 \cdot 10^6} = 1,42 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,026 \cdot 10^6}{8,36 \cdot 10^6} = 0,003 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,322}{0,281 \cdot 17,3} + \frac{1,42}{0,609 \cdot 17,3} + 0,7 \cdot \frac{0,003}{17,3} \leq 1$$

$$0,201 < 1$$

VYHOVÍ

maximální moment M_{y-}

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{18\,425}{219} = 84,1$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{84,1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9\,400}} = 1,35$$

$$\beta_c = 0,1 \text{ (pro LLD)}$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,35 - 0,3) + 1,35^2) = 1,46$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,46 + \sqrt{1,46^2 - 1,35^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,496$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{82,738 \cdot 10^3}{121\,600} = 0,680 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{94,417 \cdot 10^6}{1,54 \cdot 10^7} = 6,13 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,063 \cdot 10^6}{1,13 \cdot 10^7} = 0,006 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,680}{0,496 \cdot 17,3} + \frac{6,13}{0,862 \cdot 17,3} + 0,7 \cdot \frac{0,006}{17,3} \leq 1$$

$$0,491 < 1$$

VYHOVÍ

4.6.5.4 VZPĚR – Z ROVINY ŽEBRA

pozn. posudek nezohledňuje vliv stěnových vaznic na zkrácení vzpěrné délky, což je na stranu bezpečnou, ovšem vychází se z něj při výpočtu posouvající síly vložce >> viz D.3.3.7

maximální moment M_y .

$$l = L = 3\,685 \text{ mm}$$

$$h = b = 80 \text{ mm}$$

$$A_{tot} = A = 121\,600 \text{ mm}^2$$

$$I_{tot} = I_z = 1,82 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$\lambda = l \cdot \sqrt{A_{tot} / I_{tot}} = 3\,685 \cdot \sqrt{121\,600 / 1,82 \cdot 10^9} = 30,1$$

$$l_1 = 1\,200 \text{ mm} \gg \text{osová vzdálenost vložek}$$

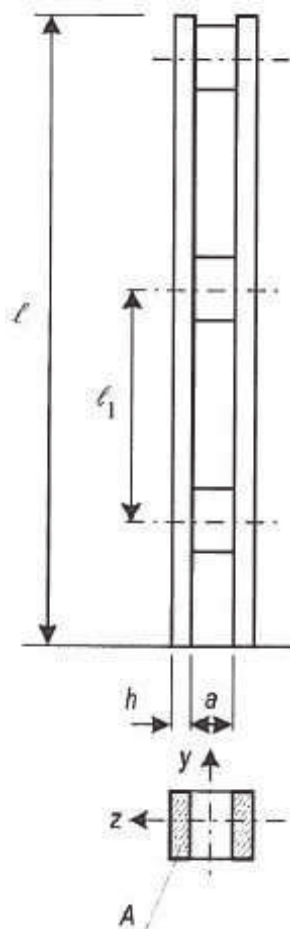
$$\lambda_1 = \sqrt{12} \cdot \frac{l_1}{h} = \sqrt{12} \cdot \frac{1\,200}{80} = 52,0$$

Tabulka C.1 – Součinitel η

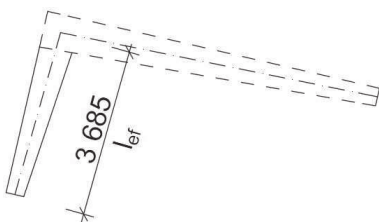
| | Vložky připojené | | | Rámové spojky připojené | |
|---------------------------------|------------------|---------|-----------------------|-------------------------|---------|
| | Lepením | Hřebíky | Svorníky ^a | Lepením | Hřebíky |
| Stálé/dlouhodobé zatížení | 1 | 4 | 3,5 | 3 | 6 |
| Střednědobé/krátkodobé zatížení | 1 | 3 | 2,5 | 2 | 4,5 |

^a s hmoždíky

$$\eta = 2,5 \gg \text{vložky připojené svorníky s hmoždíky}$$



$$\beta_c = 0,1 \text{ (pro LLD)}$$



$$n = 2 \gg \text{počet dřívů}$$

$$\lambda_z = \lambda_{ef} = \sqrt{\lambda^2 + \eta \cdot \frac{n}{2} \cdot \lambda_1^2} = \sqrt{30,1^2 + 2,5 \cdot \frac{2}{2} \cdot 52^2} = 87,6$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{87,6}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9\,400}} = 1,41$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,41 - 0,3) + 1,41^2) = 1,55$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,55 + \sqrt{1,55^2 - 1,41^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,456$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{82,738 \cdot 10^3}{121\,600} = 0,680 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{94,417 \cdot 10^6}{1,54 \cdot 10^7} = 6,13 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,063 \cdot 10^6}{1,13 \cdot 10^7} = 0,006 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,680}{0,456 \cdot 17,3} + 0,7 \cdot \frac{6,13}{0,862 \cdot 17,3} + \frac{0,006}{17,3} \leq 1$$

$$0,374 < 1$$

VYHOVÍ

4.6.5.5 KLOPENÍ – DOLNÍ VLÁKNA

$$l_{ef} = 3\,685 \text{ mm} \gg \text{klopení není bráněno}$$

pozn. posouzení v místě maximálního momentu M_y .

$$t = b = 80 \text{ mm}$$

$$a = h = 760 \text{ mm}$$

$$I_{tor} = 2 \cdot \left(1 - 0,63 \cdot \frac{t}{a}\right) \cdot \frac{t^3 \cdot a}{3} = 2 \cdot \left(1 - 0,63 \cdot \frac{80}{760}\right) \cdot \frac{80^3 \cdot 760}{3}$$

$$I_{tor} = 2,42 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$G_{0,05} = 583 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{9\,400 \cdot 1,82 \cdot 10^9 \cdot 583 \cdot 2,42 \cdot 10^8}}{3\,685 \cdot 1,54 \cdot 10^7} = 86,0 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{86,0}} = 0,528 < 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

KLOPENÍ NENASTANE

4.6.5.6 SMYKmaximální posouvající síla V_{z1} .

$$V_d = \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2} = \sqrt{(-0,518)^2 + (-21,174)^2} = 21,180 \text{ KN}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{21,180 \cdot 10^3}{64\,000} = 0,496 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$0,496 < 1,94$$

VYHOVÍ

maximální posouvající síla V_{z2} .

$$V_d = \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2} = \sqrt{0,101^2 + (-33,865)^2} = 33,865 \text{ KN}$$

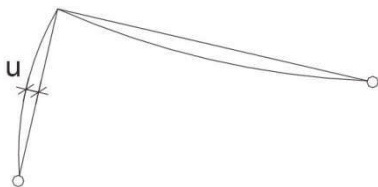
$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{33,865 \cdot 10^3}{121\,600} = 0,418 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$0,418 < 1,94$$

VYHOVÍ



4.6.6 POSOUZENÍ – MSP

stěnové žebro C02

hodnoty převzaty z programu RFEM >> příloha F.4.8

4.6.6.1 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{inst,G} = 0,30 \text{ mm}$$

4.6.6.2 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{s,na} = 0,70 \text{ mm} \quad \text{ZS3 – sníh navátý}$$

$$u_{w,z} = 0,40 \text{ mm} \quad \text{ZS6 – vítr východní – tlak}$$

$$u_{inst,Q,1} = u_{s,na} = 0,70 \text{ mm}$$

$$u_{inst,Q,i} = u_{w,z} = 0,40 \text{ mm}$$

$$u_{inst} = u_{inst,G} + u_{inst,Q,1} + \psi_{0,i} \cdot u_{inst,Q,i}$$

$$u_{inst} = 0,30 + 0,70 + 0,6 \cdot 0,40 = 1,24 \text{ mm}$$

$$u_{inst} \leq \frac{L}{500} = \frac{3\,685}{500} = 7,37 \text{ mm}$$

$$1,24 \text{ mm} < 7,37 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

4.6.6.3 KONEČNÝ PRŮHYB

$$k_{def} = 0,8$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 0,30 \cdot (1 + 0,8) = 0,54 \text{ mm}$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 0,70 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 0,70 \text{ mm}$$

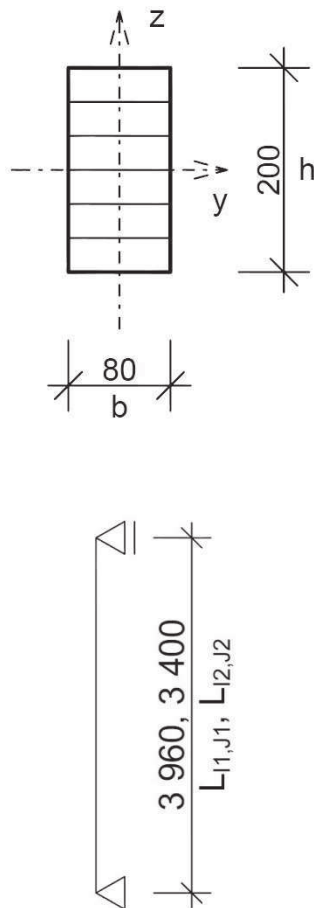
$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def}) = 0,40 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,8) = 0,24 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q,1} + u_{fin,Q,i} = 0,54 + 0,70 + 0,24 = 1,48 \text{ mm}$$

$$u_{fin} \leq \frac{L}{350} = \frac{3\,685}{350} = 10,5 \text{ mm}$$

$$1,48 \text{ mm} < 10,5 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



4.7 SLOUPY

staticky budou působit jako prosté nosníky osazené kloubově v dolní části na základové pásy a v horní části k žebrům s umožněním svislého posunu

4.7.1 GEOMETRIE

| | | sloup I1, J1 | sloup I2, J2 |
|-----------------------|-------|--|--------------|
| šířka | b | 80 mm | |
| výška | h | 200 mm | |
| plocha průřezu | A | 16 000 mm ² | |
| momenty setrvačnosti | I_y | 5,33 · 10 ⁷ mm ⁴ | |
| | I_z | 8,53 · 10 ⁶ mm ⁴ | |
| průřezové moduly | W_y | 5,33 · 10 ⁵ mm ³ | |
| | W_z | 2,13 · 10 ⁵ mm ³ | |
| poloměry setrvačnosti | i_y | 57,7 mm | |
| | i_z | 23,1 mm | |
| výška | L | 3 960 mm | 3 400 mm |
| zatěžovací šířka | B | 1 700 mm | 2 260 mm |

4.7.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | |
|---------------------------------------|---------------------|
| rostlé dřevo | GL24h |
| třída provozu | 2 |
| třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| hodnota k_{mod} | 0,90 |
| souč. vlastnosti materiálu γ_M | 1,25 |

| | |
|---------------------------|--|
| návrhová hodnota pevnosti | $f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$ |
|---------------------------|--|

| | |
|----------------------------------|------------------------------|
| charakteristická pevnost v ohybu | $f_{m,k} = 24,0 \text{ MPa}$ |
|----------------------------------|------------------------------|

| | |
|--------------------------|------------------------------|
| návrhová pevnost v ohybu | $f_{m,d} = 17,3 \text{ MPa}$ |
|--------------------------|------------------------------|

| | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| charakteristická pevnost v tahu | $f_{t,0,k} = 16,5 \text{ MPa}$ |
|---------------------------------|--------------------------------|

| | |
|-------------------------|--------------------------------|
| návrhová pevnost v tahu | $f_{t,0,d} = 11,9 \text{ MPa}$ |
|-------------------------|--------------------------------|

| | |
|----------------------------------|--------------------------------|
| charakteristická pevnost v tlaku | $f_{c,0,k} = 24,0 \text{ MPa}$ |
|----------------------------------|--------------------------------|

| | |
|--------------------------|--------------------------------|
| návrhová pevnost v tlaku | $f_{c,0,d} = 17,3 \text{ MPa}$ |
|--------------------------|--------------------------------|

| | |
|-----------------------------------|------------------------------|
| charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 2,70 \text{ MPa}$ |
|-----------------------------------|------------------------------|

| | |
|---------------------------|------------------------------|
| návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 1,94 \text{ MPa}$ |
|---------------------------|------------------------------|

| | |
|------------------|------------------------------------|
| moduly pružnosti | $E_{0,mean} = 11\,600 \text{ MPa}$ |
|------------------|------------------------------------|

| | |
|--|---------------------------------|
| | $E_{0,05} = 9\,400 \text{ MPa}$ |
|--|---------------------------------|

| | |
|---------|-----------------------------|
| hustota | $\rho = 380 \text{ kg/m}^3$ |
|---------|-----------------------------|

4.7.3 ZATÍŽENÍ

4.7.3.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ

$$\begin{aligned} \text{vlastní tíha} \quad g_{0,k} &= A \cdot \rho = 0,016 \cdot 3,8 = 0,061 \text{ KN/m} \\ \text{skleněná fasáda} \quad g_{3,k,I1,J1}' &= 1,002 \text{ KN/m} && \text{viz 2.1.4} \\ g_{3,k,I2,J2}' &= 1,356 \text{ KN/m} && \text{viz 2.1.4} \\ \Sigma \text{ stálé zatížené} \quad g_{k,S1} &= g_{0,k} + g_{3,k,I1,J1}' = 1,063 \text{ KN/m} \\ g_{k,S2} &= g_{0,k} + g_{3,k,I2,J2}' = 1,417 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

4.7.3.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

sání

$$\begin{aligned} w_{e,I1,J1}(A) &= -1,236 \text{ KN/m}^2 && \text{viz 2.2.2} \\ w_{e,I2,J2}(B) &= -0,800 \text{ KN/m}^2 && \text{viz 2.2.2} \end{aligned}$$

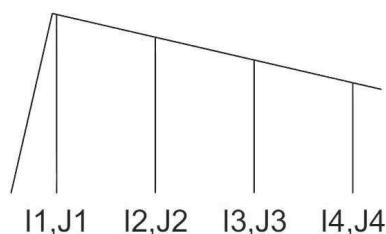
$$\begin{aligned} w_{k,I1,J1} &= w_{e,I1,J1}(A) \cdot B_{I1,J1} = (-1,236) \cdot 1,700 = -2,101 \text{ KN/m} \\ w_{k,I2,J2} &= w_{e,I2,J2}(B) \cdot B_{I2,J2} = (-0,800) \cdot 2,260 = -1,808 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

tlak

$$\begin{aligned} w_e(D) &= 0,701 \text{ KN/m}^2 && \text{viz 2.2.2} \\ w_{k,I1,J1} &= w_e(D) \cdot B_{I1,J1} = 0,701 \cdot 1,700 = 1,192 \text{ KN/m} \\ w_{k,I2,J2} &= w_e(D) \cdot B_{I2,J2} = 0,701 \cdot 2,260 = 1,584 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

4.7.4 VNITŘNÍ SÍLY

$$N_k = g_k \cdot L \quad V_{z,k} = \frac{1}{2} \cdot \max w_k \cdot L \quad M_{y,k} = \frac{1}{8} \cdot \max w_k \cdot L^2$$



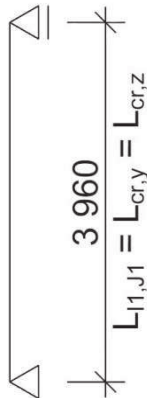
| | L [m] | charakteristické vnitřní síly | | |
|-------|----------|-------------------------------|-----------|-----------|
| | | N_k | $V_{z,k}$ | $M_{y,k}$ |
| I1,J1 | 3,960 | 4,209 | 4,160 | 4,118 |
| I2,J2 | 3,400 | 4,818 | 3,074 | 2,613 |

kombinace a návrhové hodnoty vnitřních sil (hodnoty viz 3.2)

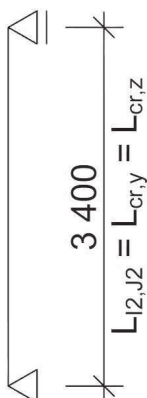
$$F_d = \gamma_{Gj,sup} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot W_k$$

| | L [m] | návrhové vnitřní síly | | |
|-------|----------|-----------------------|-----------|-----------|
| | | N_d | $V_{z,d}$ | $M_{y,d}$ |
| I1,J1 | 3,960 | 5,682 | 6,240 | 6,177 |
| I2,J2 | 3,400 | 6,504 | 4,611 | 3,920 |

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \quad \tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y}$$



$$\beta_c = 0,1 \text{ (pro LLD)}$$



| | návrhové napětí | | |
|-------|------------------|----------|------------------|
| | $\sigma_{c,0,d}$ | τ_d | $\sigma_{m,y,d}$ |
| I1,J1 | 0,355 | 0,585 | 11,589 |
| I2,J2 | 0,407 | 0,432 | 7,355 |

4.7.5 POSOUZENÍ – MSÚ

4.7.5.1 VZPĚR – SLOUP I1, J1

$$\beta = 1,0 \quad \gg \quad \text{prosté podepření}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{I1,J1} \cdot \beta = 3\,960 \cdot 1,0 = 3\,960 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3\,960}{57,7} = 68,6$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3\,960}{23,1} = 171$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{68,6}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9\,400}} = 1,10$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{171}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9\,400}} = 2,75$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,10 - 0,3) + 1,10^2) = 1,15$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (2,75 - 0,3) + 2,75^2) = 4,40$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,15 + \sqrt{1,15^2 - 1,10^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,673$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{4,40 + \sqrt{4,40^2 - 2,75^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,128$$

4.7.5.2 VZPĚR – SLOUP I2, J2

$$\beta = 1,0 \quad \gg \quad \text{prosté podepření}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{I2,J2} \cdot \beta = 3\,400 \cdot 1,0 = 3\,400 \text{ mm}$$

$$\beta_c = 0,1 \text{ (pro LLD)}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3\,400}{57,7} = 58,9$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3\,400}{23,1} = 147$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{58,9}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9\,400}} = 0,947$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{147}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9\,400}} = 2,36$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (0,947 - 0,3) + 0,947^2) = 0,981$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (2,36 - 0,3) + 2,36^2) = 3,39$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,981 + \sqrt{0,981^2 - 0,947^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,808$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{3,39 + \sqrt{3,39^2 - 2,36^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,172$$

POSOUZENÍ

$$k_m = 0,7$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (1)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (2)$$

4.7.5.3 SMYK

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (3)$$

| | podmínky | | |
|-------|----------|-------|-------|
| | (1) | (2) | (3) |
| I1,J1 | 0,700 | 0,629 | 0,302 |
| I2,J2 | 0,454 | 0,434 | 0,223 |

VYHOVÍ

4.7.5.4 KLOPENÍ

$$t = b = 80 \text{ mm}$$

$$a = h = 200 \text{ mm}$$

$$I_{tor} = \left(1 - 0,63 \cdot \frac{t}{a}\right) \cdot \frac{t^3 \cdot a}{3} = \left(1 - 0,63 \cdot \frac{80}{200}\right) \cdot \frac{80^3 \cdot 200}{3}$$

$$I_{tor} = 2,55 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$G_{0,05} = 583 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{9\,400 \cdot 8,53 \cdot 10^6 \cdot 583 \cdot 2,55 \cdot 10^7}}{3\,960 \cdot 5,33 \cdot 10^5} = 51,4 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{51,4}} = 0,683 < 0,75 \gg k_{crit} = 1,0$$

KLOPENÍ NENASTANE

4.7.6 POSOUZENÍ – MSP

sloup I1, J1

4.7.6.1 OKAMŽITÝ PRŮHYB – OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{inst,z,Q,1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{z,k} \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2,101 \cdot 10^3 \cdot 3\,960^4}{11\,600 \cdot 10^6 \cdot 5,33 \cdot 10^7}$$

$$u_{inst,z,Q,1} = 10,9 \text{ mm}$$

$$u_{inst} = u_{inst,z,Q,1} = 10,9 \text{ mm}$$

$$u_{inst} \leq \frac{L}{350} = \frac{3\,960}{350} = 11,3 \text{ mm}$$

$$10,9 \text{ mm} < 11,3 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

4.7.6.2 KONEČNÝ PRŮHYB

$$k_{def} = 0,8$$

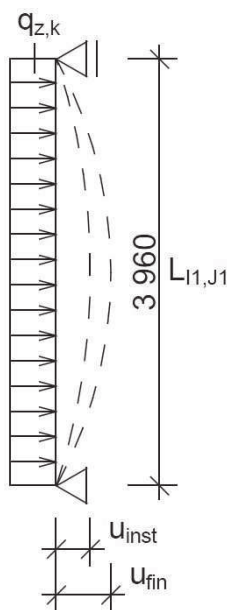
$$u_{fin,z,Q,1} = u_{inst,z,Q,1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 10,9 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 10,9 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = u_{fin,z,Q,1} = 10,9 \text{ mm}$$

$$u_{fin} \leq \frac{L}{350} = \frac{3\,960}{350} = 11,3 \text{ mm}$$

$$10,9 \text{ mm} < 11,3 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



5 PŘÍLOHY



DYAS Multiplex

Jsou zdravotně nezávadné a vyhovují třídě úniku formaldehydu A (E 1) dle ČSN EN 1084 Překližované desky. Třídy úniku formaldehydu podle metody plynové analýzy.

Specifičnost desek Multiplex je v tloušťce vnitřních dýh použitých k výrobě. U Multiplexu se jedná o dýhy s tloušťkou 2,2 mm a 2,6 mm. Toto následně ovlivňuje i vlastnosti finálních desek. Díky většímu obsahu „masivního“ dřeva v podobě silnějších vnitřních dýh a méně lepidla jsou pak vlastnosti bližší masivnímu buku.

Aplikace:

Pro své vynikající pevnostní vlastnosti jsou desky Multiplex používány především ve strojírenství, stavebnictví, automobilovém průmyslu, transportu atd.

Tloušťka:

15, 18, 20, 25, 30, 35, 40, 50 mm
(jiné po dohodě výrobce s odběratelem)

Lepení:

Třída lepení 3 (AW 100) - dle ČSN EN 314-2
Jsou určeny pro nechráněné venkovní prostředí dle ČSN EN 636.

Třída lepení 2 (A 100) - ČSN EN 314-2
Jsou určeny pro chráněné venkovní prostředí dle ČSN EN 636.

Třída lepení 1 (IF 20) - ČSN EN 314-2
Jsou určeny pro vnitřní použití dle ČSN EN 636

Formát:

2 200 x 1 250 mm
2 500 x 1 250 mm
2 500 x 1 500 mm
(podélné nebo příčné provedení, jiné formáty dle poptávky zákazníka)

Jakost:

B, BB, CP, C, D
(kombinace jakostí dle poptávky zákazníka)

Broušení:

Základní broušení desek se provádí brusným pásem se zrnitostí 60

Vlhkost:

6% až 12% (v době dodávky)

| Tloušťka | Počet vrstev | Orientační objemová hmotnost | Tloušťková tolerance | Pevnost v ohybu (směr vláken povrchové dýhy) | |
|----------|--------------|------------------------------------|-------------------------|---|------------------------|
| | | (kg/m3) | (mm) | podélní | příční |
| 15 | 7x | 760 | +0,5/-0,5 | 60,0 N/mm ² | 50,0 N/mm ² |
| 18 | 9x | | | | |
| 20 | 9x | | | | |
| 25 | 13x | 750 | +0,8/-0,8 | | |
| 30 | 15x | | | | |
| 35 | 17x | | | | |
| 40 | 19x | 720 | +1,0/-1,2 | | |
| 45 | 23x | | | | |
| 50 | 23x | | | | |



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

D STATICKÝ VÝPOČET - SPOJE

STRUCTURAL DESIGN REPORT - JOINTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radek Vojta

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. STANISLAV BUCHTA, Ph.D.

BRNO 2017

OBSAH

| | | |
|--------|--|----|
| 1 | SPOJE KOPULE A HALY | 4 |
| 1.1 | KOTVENÍ ŽEBRA KOPULE..... | 4 |
| 1.1.1 | VNITŘNÍ SÍLY | 4 |
| 1.1.2 | REAKCE | 4 |
| 1.1.3 | ČEPOVÝ SPOJ | 5 |
| 1.1.4 | HORNÍ PLECH..... | 6 |
| 1.1.5 | PLECH VSAZENÝ DO ŽEBRA | 8 |
| 1.2 | KOTVENÍ ŽEBRA HALY | 11 |
| 1.2.1 | VNITŘNÍ SÍLY | 11 |
| 1.2.2 | REAKCE | 11 |
| 1.2.3 | ČEPOVÝ SPOJ | 12 |
| 1.2.4 | HORNÍ PLECH..... | 13 |
| 1.2.5 | PLECH VSAZENÝ DO ŽEBRA | 15 |
| 1.3 | KOTVENÍ ŽEBRA KOPULE A HALY..... | 18 |
| 1.3.1 | REAKCE | 18 |
| 1.3.2 | DOLNÍ PLECHY | 18 |
| 1.3.3 | PATNÍ DESKA | 22 |
| 1.3.4 | NÁHRADNÍ T PROFIL V TAHU..... | 23 |
| 1.3.5 | KOTEVNÍ ŠROUBY | 25 |
| 1.3.6 | SMYKOVÁ ZARÁŽKA | 27 |
| 2 | SPOJE KOPULE | 30 |
| 2.1 | KOTVENÍ ŽEBRA KOPULE..... | 30 |
| 2.1.1 | VNITŘNÍ SÍLY | 30 |
| 2.1.2 | REAKCE | 30 |
| 2.1.3 | ČEPOVÝ SPOJ | 31 |
| 2.1.4 | HORNÍ PLECH..... | 31 |
| 2.1.5 | PLECH VSAZENÝ DO ŽEBRA | 31 |
| 2.1.6 | DOLNÍ PLECHY | 31 |
| 2.1.7 | PATNÍ DESKA | 34 |
| 2.1.8 | NÁHRADNÍ T PROFIL V TAHU..... | 35 |
| 2.1.9 | KOTEVNÍ ŠROUBY | 37 |
| 2.1.10 | SMYKOVÁ ZARÁŽKA | 39 |
| 2.2 | ULOŽENÍ ŽEBRA KOPULE NA PRSTENEC | 42 |

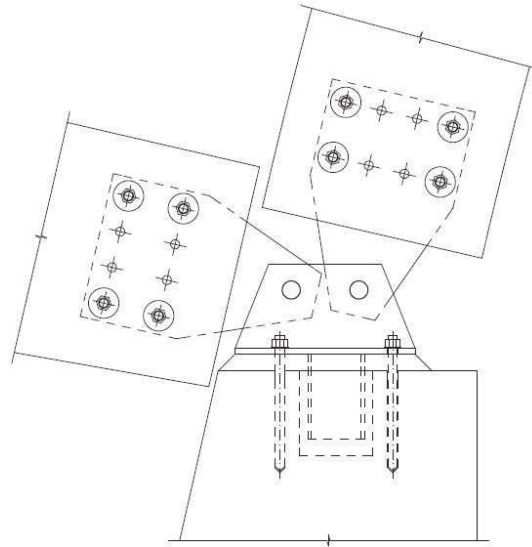
| | | |
|-------|---|----|
| 2.2.1 | VNITŘNÍ SÍLY | 42 |
| 2.2.2 | ČEPOVÝ SPOJ | 42 |
| 2.2.3 | LEVÉ PLECHY | 44 |
| 2.2.4 | PLECHY OSAZENÉ NA ŽEBRO | 46 |
| 2.2.5 | PRAVÉ PLECHY | 48 |
| 2.3 | SPOJ PRSTENCE | 52 |
| 2.3.1 | VNITŘNÍ SÍLY | 52 |
| 2.3.2 | SVARY | 53 |
| 2.4 | ULOŽENÍ VAZNICE KOPULE SE ZTUŽIDLY NA ŽEBRO | 56 |
| 2.4.1 | VNITŘNÍ SÍLY | 56 |
| 2.4.2 | IDEALIZACE KONSTRUKCE | 57 |
| 2.4.3 | ČEPOVÝ SPOJ | 59 |
| 2.4.4 | PLECH VSAZENÝ DO VAZNICE | 61 |
| 2.4.5 | PLECH | 64 |
| 2.4.6 | NÁHRADNÍ T PROFIL V TAHU | 66 |
| 2.4.7 | SVORNÍKY | 68 |
| 2.4.8 | PLECHY OSAZENÉ NA ŽEBRO | 70 |
| 2.5 | ULOŽENÍ VAZNICE KOPULE NA ŽEBRO | 73 |
| 2.5.1 | VNITŘNÍ SÍLY | 73 |
| 2.5.2 | PLECHY OSAZENÉ NA VAZNICI | 73 |
| 2.5.3 | TŘMEN | 76 |
| 2.5.4 | SVORNÍKY | 79 |
| 2.5.5 | PLECHY OSAZENÉ NA ŽEBRO | 80 |
| 3 | SPOJE HALY | 81 |
| 3.1 | RÁMOVÝ ROH | 81 |
| 3.1.1 | VNITŘNÍ SÍLY | 81 |
| 3.1.2 | PEVNOST V OTLAČENÍ DŘEVA | 82 |
| 3.2 | KOTVENÍ ŽEBRA HALY | 85 |
| 3.2.1 | VNITŘNÍ SÍLY | 85 |
| 3.2.2 | REAKCE | 85 |
| 3.2.3 | ČEPOVÝ SPOJ | 85 |
| 3.2.4 | HORNÍ PLECHY | 87 |
| 3.2.5 | PLECHY OSAZENÉ NA ŽEBRO | 89 |
| 3.2.6 | DOLNÍ PLECHY | 91 |
| 3.2.7 | PATNÍ DESKA | 94 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 3.2.8 | KOTEVNÍ ŠROUBY | 96 |
| 3.2.9 | SMYKOVÁ ZARÁŽKA | 96 |
| 3.3 | ULOŽENÍ STĚNOVÉ VAZNICE NA ŽEBRO | 100 |
| 3.3.1 | VNITŘNÍ SÍLY | 100 |
| 3.3.2 | IDEALIZACE KONSTRUKCE..... | 101 |
| 3.3.3 | PLECH VSAZENÝ DO VAZNICE..... | 102 |
| 3.3.4 | PLECH VSAZENÝ DO DIAGONÁLY | 105 |
| 3.3.5 | PLECH | 107 |
| 3.3.6 | NÁHRADNÍ T PROFIL V TAHU..... | 109 |
| 3.3.7 | POSOUVAJÍCÍ SÍLA VE VLOŽCE | 111 |
| 3.3.8 | SVORNÍKY | 111 |
| 3.3.9 | PLECHY OSAZENÉ NA ŽEBRO..... | 114 |
| 3.4 | ULOŽENÍ STŘEŠNÍ VAZNICE NA ŽEBRO | 117 |
| 3.4.1 | VNITŘNÍ SÍLY | 117 |
| 3.4.2 | IDEALIZACE KONSTRUKCE..... | 117 |
| 3.4.3 | PLECHY OSAZENÉ NA VAZNICI | 118 |
| 3.4.4 | TŘMEN | 120 |
| 3.4.5 | PLECH OSAZENÝ NA ŽEBRO | 124 |
| 3.5 | KOTVENÍ SLOUPU | 128 |
| 3.5.1 | VNITŘNÍ SÍLY | 128 |
| 3.5.2 | PLECHY OSAZENÉ NA SLOUP | 128 |
| 3.5.3 | SVISLÉ PLECHY | 130 |
| 3.5.4 | PATNÍ DESKA | 132 |
| 3.5.5 | KOTEVNÍ ŠROUBY | 134 |
| 3.6 | ULOŽENÍ SLOUPU NA ŽEBRO | 137 |
| 3.6.1 | VNITŘNÍ SÍLY | 137 |
| 3.6.2 | PLECHY OSAZENÉ NA SLOUP | 137 |
| 3.6.3 | SVISLÉ PLECHY | 140 |
| 3.6.4 | PLECH OSAZENÝ NA ŽEBRO | 142 |
| 4 | PŘÍLOHY | 144 |
| 4.1 | KOTVENÍ K1 – PROTOKOL | 145 |
| 4.2 | KOTVENÍ K2 – PROTOKOL | 151 |
| 4.3 | LEPENÉ KOTVY HILTI..... | 157 |
| 4.4 | VRUTY DO DŘEVA POWER FAST | 158 |

1 SPOJE KOPULE A HALY

1.1 KOTVENÍ ŽEBRA KOPULE

spoj je tvořen plechem vsazeným do žebra a zajištěným svorníky a kolíky a v dolní části je osazen na dvojici plechů pomocí čepu

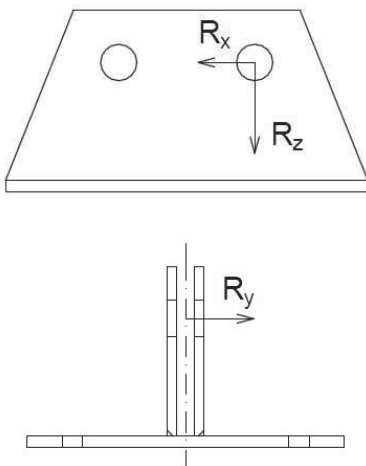


1.1.1 VNITŘNÍ SÍLY

| | |
|---|-------------------------------------|
| maximální tlak (žebro A05, KV9) | $N_d = -95,303 \text{ KN}$ |
| | odp. $V_{y,d} = -2,495 \text{ KN}$ |
| | odp. $V_{z,d} = -20,351 \text{ KN}$ |
| maximální tah (žebro A04, KV29) | $N_d = 48,276 \text{ KN}$ |
| | odp. $V_{y,d} = -4,124 \text{ KN}$ |
| | odp. $V_{z,d} = 10,033 \text{ KN}$ |
| maximální posouvající síla (žebro A05, KV25) | odp. $N_d = -86,584 \text{ KN}$ |
| | odp. $V_{y,d} = -3,336 \text{ KN}$ |
| | $V_{z,d} = -26,676 \text{ KN}$ |

1.1.2 REAKCE

| | |
|---|---------------------------------|
| maximální tlak (žebro A05, KV9) | $R_z = 88,266 \text{ KN}$ |
| | odp. $R_x = 41,261 \text{ KN}$ |
| | odp. $R_y = 2,495 \text{ KN}$ |
| maximální tah (žebro A04, KV29) | $R_z = -44,774 \text{ KN}$ |
| | odp. $R_x = -20,632 \text{ KN}$ |
| | odp. $R_y = 4,124 \text{ KN}$ |
| maximální posouvající síla (žebro A05, KV25) | odp. $R_z = 78,350 \text{ KN}$ |
| | $R_x = 45,461 \text{ KN}$ |
| | odp. $R_y = 3,336 \text{ KN}$ |



1.1.3 ČEPOVÝ SPOJ

1.1.3.1 GEOMETRIE

| | | |
|-----|---------------|-----------------------|
| čep | průměr | $d = 30 \text{ mm}$ |
| | průměr otvoru | $d_0 = 32 \text{ mm}$ |

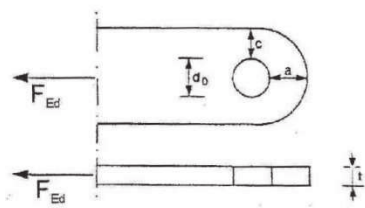
1.1.3.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|--------|--------------|----------------------------------|
| čep | ocel | S235 |
| plechy | mez kluzu | $f_y = f_{yp} = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = f_{up} = 360 \text{ MPa}$ |

| | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ |
| | $\gamma_{m2} = 1,25$ |

1.1.3.3 NÁVRH PLECHU

pozn. posouzení konců plechu je vztaženo k maximální tahové síle



$$F_{Ed} = \sqrt{N_d^2 + V_{z,d}^2} = \sqrt{48,276^2 + 10,033^2} = 49,308 \text{ KN}$$

$$t \geq 0,7 \cdot \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = 0,7 \cdot \frac{49,308 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{235} = 10,1 \text{ mm}$$

volím $t = 14 \text{ mm}$

$$d_0 \leq 2,5 \cdot t = 2,5 \cdot 14 = 35 \text{ mm}$$

$$32 \text{ mm} < 35 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

$$a \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{49,308 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 14 \cdot 235} + \frac{2 \cdot 32}{3} = 28,8 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{49,308 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 14 \cdot 235} + \frac{32}{3} = 18,2 \text{ mm}$$

volím $t_h = 14 \text{ mm}$ $t_d = 8 \text{ mm}$ $a = c = 30 \text{ mm}$

1.1.3.4 ÚNOSNOST VE STŘIHU

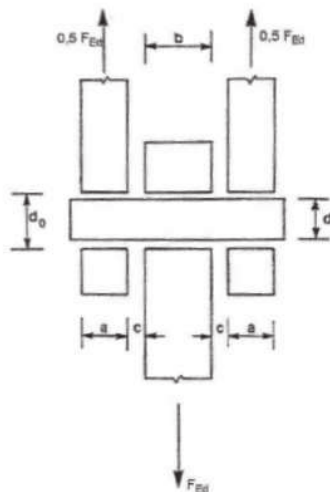
pozn. posouzení čepu je vztaženo k celkové maximální síle

$$A = \pi \cdot \frac{d^2}{4} = \pi \cdot \frac{30^2}{4} = 707 \text{ mm}^2$$

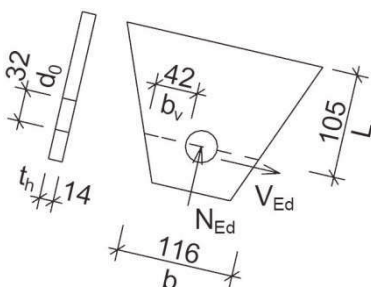
počet stříhových rovin $n_s = 2$

$$F_{v,Rd} = n_s \cdot \frac{0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 707 \cdot 360}{1,25} = 244,340 \text{ KN}$$

$$F_{Ed} = F_{v,Ed} = F_{b,Ed} = \sqrt{N_d^2 + V_{z,d}^2} = \sqrt{(-95,303)^2 + (-20,351)^2}$$



$$\begin{aligned} a &= t_d = 8 \text{ mm} \\ b &= t_h = 14 \text{ mm} \\ c &= 1 \text{ mm} \end{aligned}$$



$$F_{Ed} = F_{v,Ed} = F_{b,Ed} = 97,452 \text{ KN}$$

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$97,452 < 244,340$$

VYHOVÍ (využití 40 %)

1.1.3.5 ÚNOSNOST PLECHU A ČEPU V OTLAČENÍ

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 14 \cdot 30 \cdot 235}{1,00} = 148,050 \text{ KN}$$

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$97,452 < 148,050$$

VYHOVÍ (využití 66 %)

1.1.3.6 ÚNOSNOST ČEPU V OHYBU

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} \cdot (b + 4 \cdot c + 2 \cdot a) = \frac{97,452 \cdot 10^3}{8} \cdot (14 + 4 \cdot 1 + 2 \cdot 8)$$

$$M_{Ed} = 0,414 \text{ KNm}$$

$$I_y = \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot d^4 = \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot 30^4 = 3,98 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_y = W_{el} = \frac{I_y}{(d/2)} = \frac{3,98 \cdot 10^4}{(30/2)} = 2,65 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 2,65 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,00} = 0,934 \text{ KNm}$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$0,414 < 0,934$$

VYHOVÍ (využití 44 %)

1.1.3.7 ÚNOSNOST ČEPU PŘI KOMBINACI STŘIHU A OHYBU

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1$$

$$\left[\frac{0,414}{0,934} \right]^2 + \left[\frac{97,452}{244,340} \right]^2 \leq 1$$

$$0,356 < 1$$

VYHOVÍ (využití 36 %)

1.1.4 HORNÍ PLECH

1.1.4.1 GEOMETRIE

tloušťka

$$t_h = 14 \text{ mm}$$

šířka v místě otvoru

$$b = 116 \text{ mm}$$

oslabená šířka

$$b_{net} = b - d_0 = 84 \text{ mm}$$

šířka účinná ve smyku

$$b_v = b_{net} / 2 = 42 \text{ mm}$$

| | |
|----------------------|--|
| plocha | $A = b \cdot t_h = 1\,624\,mm^2$ |
| oslabená plocha | $A_{net} = b_{net} \cdot t_h = 1\,176\,mm^2$ |
| smysková plocha | $A_v = b_v \cdot t_h = 588\,mm^2$ |
| poloměr setrvačnosti | $i = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot t_h^2} = 4,04\,mm$ |
| délka | $L = 105\,mm$ |
| konzola | $\beta = 2,0$ |
| kritická délka | $L_{cr} = L \cdot \beta = 105 \cdot 2,0 = 210\,mm$ |

1.1.4.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| plechy | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235\,MPa$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360\,MPa$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ | $\gamma_{m2} = 1,25$ |

1.1.4.3 TAH

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1\,176 \cdot 360}{1,25} = 304,819\,KN$$

$$N_{Ed} = \max N_d = 48,276\,KN$$

$$N_{Ed} \leq N_{u,Rd}$$

$$48,276 < 304,819$$

VYHOVÍ (využití 16 %)

1.1.4.4 VZPĚŘ

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{210}{4,04} = 52,0$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{52,0}{93,9} = 0,554$$

$$\text{křivka vzpěrné pevnosti "c"} \gg \alpha = 0,49$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (0,554 - 0,2) + 0,554^2) = 0,740$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,740 + \sqrt{0,740^2 - 0,554^2}} = 0,813$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,813 \cdot 1\,624 \cdot 235}{1,0} = 310,273\,KN$$

$$N_{Ed} = |\min N_d| = 95,303 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

$$95,303 < 310,273$$

VYHOVÍ (využití 31 %)

1.1.4.5 SMYK

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{588 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 79,778 \text{ KN}$$

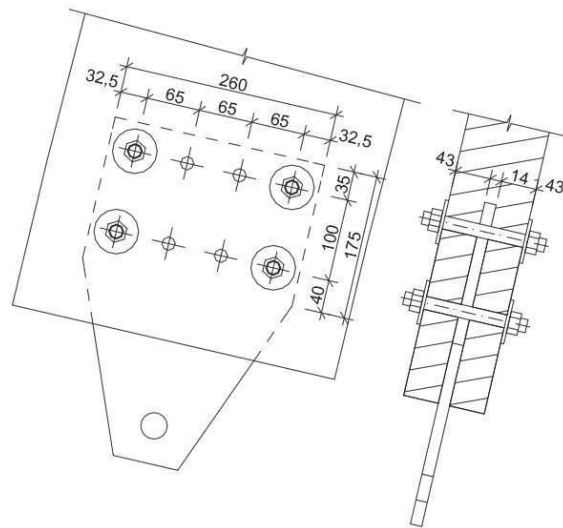
$$V_{Ed} = \max |V_{z,d}| = 26,676 \text{ KN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$26,676 < 79,778$$

VYHOVÍ (využití 33 %)

1.1.5 PLECH VSAZENÝ DO ŽEBRA

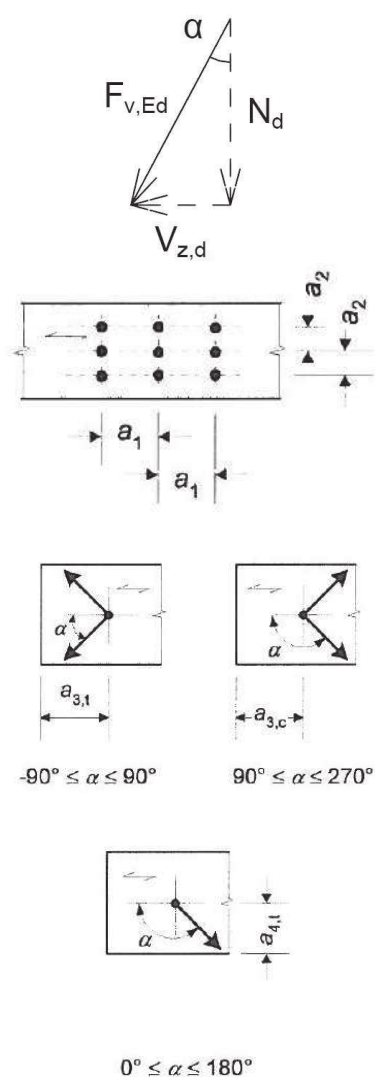


1.1.5.1 GEOMETRIE

| | | |
|---------|-------------------|---------------------------------------|
| LLD | tloušťka | $b = 100 \text{ mm}$ |
| | tloušťka ve spoji | $t_1 = (b - t_h) / 2 = 43 \text{ mm}$ |
| plech | tloušťka | $t_h = 14 \text{ mm}$ |
| svorník | průměr | $d_s = 16 \text{ mm}$ |
| | počet | $n_s = 4$ |
| kolík | průměr | $d_k = 16 \text{ mm}$ |
| | počet | $n_k = 4$ |

1.1.5.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-----|-----------------------|---------------------|
| LLD | dřevo | GL24h |
| | třída provozu | 2 |
| | třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| | hodnota k_{mod} | $k_{mod} = 0,90$ |



hustota

$$\rho = 380 \text{ kg/m}^3$$

součinitele spolehlivosti materiálu

$$\gamma_m = 1,3 \text{ (pro spoje)}$$

svorník

ocel

4.8

mez kluzu

$$f_{y,k} = 320 \text{ MPa}$$

mez pevnosti

$$f_{u,k} = 400 \text{ MPa}$$

kolík

ocel

E335

mez kluzu

$$f_{y,k} = 300 \text{ MPa}$$

mez pevnosti

$$f_{u,k} = 600 \text{ MPa}$$

součinitele spolehlivosti materiálu

$$\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$$

$$\gamma_{m2} = 1,25$$

1.1.5.3 PEVNOST V OTLAČENÍ DŘEVA

$$F_{v,Ed} = \sqrt{N_d^2 + V_{z,d}^2}$$

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \cdot \frac{V_{z,d}}{N_d}$$

$$a_1 = (4 + |\cos \alpha|) \cdot d$$

$$a_2 = 4 \cdot d$$

$$a_{3,t} = \max (7 \cdot d ; 80 \text{ mm})$$

$$a_{3,c} = 4 \cdot d$$

$$a_{4,t} = \max [(2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d ; 3 \cdot d]$$

$$a_{4,c} = 3 \cdot d$$

| | | maximální tlak | maximální tah | maximální posouvající síla |
|------------|----|----------------|---------------|----------------------------|
| $F_{v,Ed}$ | KN | 97,452 | 49,308 | 90,600 |
| α | ° | 12,1 | 11,7 | 17,1 |
| a_1 | mm | 79,6 | 79,7 | 79,3 |
| a_2 | mm | 64,0 | | |
| $a_{3,t}$ | mm | 112 | | |
| $a_{3,c}$ | mm | 64,0 | | |
| $a_{4,t}$ | mm | 48,0 | | |
| $a_{4,c}$ | mm | 48,0 | | |

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot \min f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 16^{2,6} = 162 \, 141 \text{ Nmm}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 380$$

$$f_{h,0,k} = 26,174 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 16 = 1,59$$

$$f_{h,1,k} = f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

počet stříhových rovin

$$n_s = 2$$

počet řad svorníků a kolíků

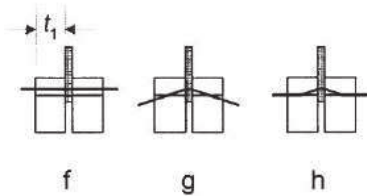
$$p = 4$$

účinný počet svorníků a kolíků v jedné řadě rovnoběžné s vlákny

$$n_{ef} = \min \left\{ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} = \min \left\{ 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{13 \cdot 16}} = \min \left\{ 1,55 \right. \right.$$

$$n_{ef} = 1,55$$

pevnost ocelové desky libovolné tloušťky jako střední prvek dvojstřížného spoje



$$F_{v,Rk}' = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rd}' = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}'}{\gamma_m}$$

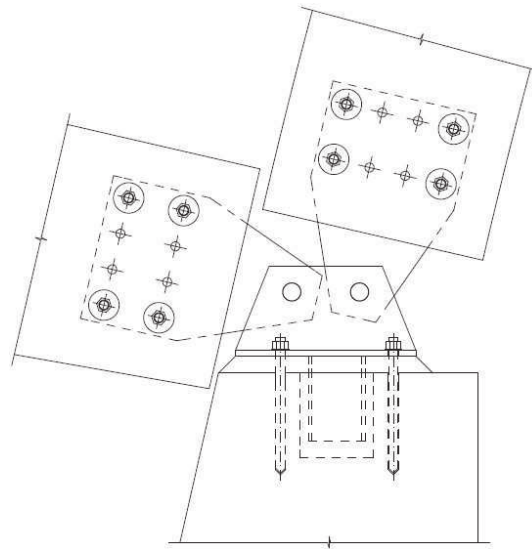
$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd}' \cdot n_s \cdot p \cdot n_{ef}$$

$$F_{v,ed} \leq F_{v,Rd}$$

| | | maximální tlak | maximální tah | maximální posouvající síla |
|-------------|-------|----------------|---------------|----------------------------|
| $f_{h,1,k}$ | MPa | 26,174 | 25,554 | 24,904 |
| $F_{v,Rk}'$ | (f) | 17,553 | 17,581 | 17,134 |
| | (g) | 12,128 | 12,140 | 11,945 |
| | (h) | 18,712 | 18,727 | 18,487 |
| $F_{v,Rd}'$ | KN | 8,396 | 8,405 | 8,270 |
| $F_{v,Rd}$ | KN | 104,110 | 104,222 | 102,548 |
| $F_{v,ed}$ | KN | 97,452 | 49,308 | 90,600 |
| využití | | 94 % | 47 % | 88 % |
| | | VYHOVÍ | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

1.2 KOTVENÍ ŽEBRA HALY

spoj je tvořen plechem vsazeným do žebra a zajištěným svorníky a kolíky a v dolní části je osazen na dvojici plechů pomocí čepu



1.2.1 VNITŘNÍ SÍLY

maximální tlak
(žebro B02, KV9)

$$N_d = -70,375 \text{ KN}$$

odp. $V_{y,d} = 0,498 \text{ KN}$

odp. $V_{z,d} = 46,692 \text{ KN}$

maximální tah
(žebro B01, KV18)

$$N_d = 3,901 \text{ KN}$$

odp. $V_{y,d} = 2,391 \text{ KN}$

odp. $V_{z,d} = -0,194 \text{ KN}$

maximální posouvající síla
(žebro B02, KV11)

odp. $N_d = -59,463 \text{ KN}$

odp. $V_{y,d} = 0,662 \text{ KN}$

$$V_{z,d} = 60,957 \text{ KN}$$

1.2.2 REAKCE

maximální tlak
(žebro B02, KV9)

$$R_z = 59,729 \text{ KN}$$

odp. $R_x = 59,710 \text{ KN}$

odp. $R_y = 0,498 \text{ KN}$

maximální tah
(žebro B01, KV18)

$$R_z = -0,965 \text{ KN}$$

odp. $R_x = -3,785 \text{ KN}$

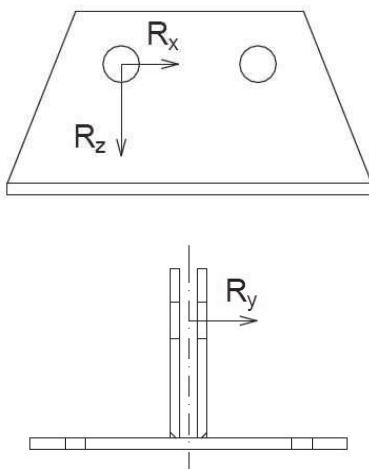
odp. $R_y = 2,391 \text{ KN}$

maximální posouvající síla
(žebro B02, KV11)

odp. $R_z = 71,545 \text{ KN}$

$$R_x = 46,184 \text{ KN}$$

odp. $R_y = 0,662 \text{ KN}$



1.2.3 ČEPOVÝ SPOJ**1.2.3.1 GEOMETRIE**

| | | |
|-----|---------------|-----------------------|
| čep | průměr | $d = 30 \text{ mm}$ |
| | průměr otvoru | $d_0 = 32 \text{ mm}$ |

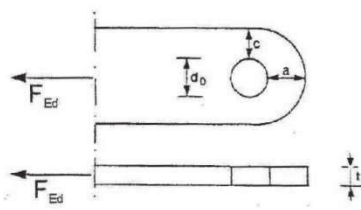
1.2.3.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|--------|--------------|----------------------------------|
| čep | ocel | S235 |
| plechy | mez kluzu | $f_y = f_{yp} = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = f_{up} = 360 \text{ MPa}$ |

| | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ |
| | $\gamma_{m2} = 1,25$ |

1.2.3.3 NÁVRH PLECHU

pozn. posouzení konců plechu je vztaženo k maximální tahové síle



$$F_{Ed} = \sqrt{N_d^2 + V_{z,d}^2} = \sqrt{3,901^2 + (-0,194)^2} = 3,906 \text{ KN}$$

$$t \geq 0,7 \cdot \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = 0,7 \cdot \frac{3,906 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{235} = 2,85 \text{ mm}$$

volím $t = 14 \text{ mm}$

$$d_0 \leq 2,5 \cdot t = 2,5 \cdot 14 = 35 \text{ mm}$$

$$32 \text{ mm} < 35 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

$$a \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{3,906 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 14 \cdot 235} + \frac{2 \cdot 32}{3} = 21,9 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{3,906 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 14 \cdot 235} + \frac{32}{3} = 11,3 \text{ mm}$$

volím $t_h = 14 \text{ mm}$ $t_d = 8 \text{ mm}$ $a = c = 30 \text{ mm}$

1.2.3.4 ÚNOSNOST VE STŘIHU

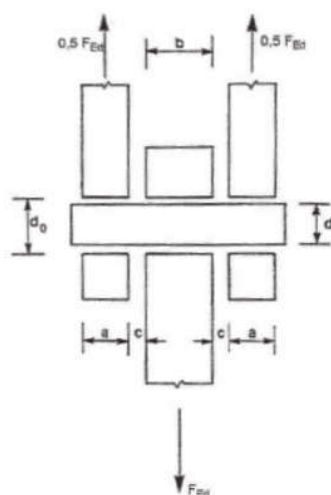
pozn. posouzení čepu je vztaženo k celkové maximální síle

$$A = \pi \cdot \frac{d^2}{4} = \pi \cdot \frac{30^2}{4} = 707 \text{ mm}^2$$

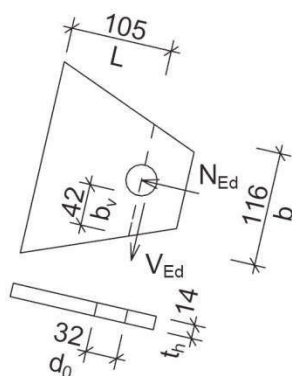
počet stříhových rovin $n_s = 2$

$$F_{v,Rd} = n_s \cdot \frac{0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 707 \cdot 360}{1,25} = 244,340 \text{ KN}$$

$$F_{Ed} = F_{v,Ed} = F_{b,Ed} = \sqrt{N_d^2 + V_{z,d}^2} = \sqrt{(-59,463)^2 + 60,957^2}$$



$$\begin{aligned} a &= t_d = 8 \text{ mm} \\ b &= t_h = 14 \text{ mm} \\ c &= 1 \text{ mm} \end{aligned}$$



$$F_{Ed} = F_{v,Ed} = F_{b,Ed} = 85,156 \text{ KN}$$

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$85,156 < 244,340$$

VYHOVÍ (využití 35 %)

1.2.3.5 ÚNOSNOST PLECHU A ČEPU V OTLAČENÍ

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 14 \cdot 30 \cdot 235}{1,00} = 148,050 \text{ KN}$$

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$85,156 < 148,050$$

VYHOVÍ (využití 58 %)

1.2.3.6 ÚNOSNOST ČEPU V OHYBU

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} \cdot (b + 4 \cdot c + 2 \cdot a) = \frac{85,156 \cdot 10^3}{8} \cdot (14 + 4 \cdot 1 + 2 \cdot 8)$$

$$M_{Ed} = 0,362 \text{ KNm}$$

$$I_y = \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot d^4 = \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot 30^4 = 3,98 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_y = W_{el} = \frac{I_y}{(d/2)} = \frac{3,98 \cdot 10^4}{(30/2)} = 2,65 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 2,65 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,00} = 0,934 \text{ KNm}$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$0,362 < 0,934$$

VYHOVÍ (využití 39 %)

1.2.3.7 ÚNOSNOST ČEPU PŘI KOMBINACI STŘIHU A OHYBU

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1$$

$$\left[\frac{0,362}{0,934} \right]^2 + \left[\frac{85,156}{244,340} \right]^2 \leq 1$$

$$0,272 < 1$$

VYHOVÍ (využití 27 %)

1.2.4 HORNÍ PLECH

1.2.4.1 GEOMETRIE

tloušťka

$$t_h = 14 \text{ mm}$$

šířka v místě otvoru

$$b = 116 \text{ mm}$$

oslabená šířka

$$b_{net} = b - d_0 = 84 \text{ mm}$$

šířka účinná ve smyku

$$b_v = b_{net} / 2 = 42 \text{ mm}$$

| | |
|----------------------|--|
| plocha | $A = b \cdot t_h = 1\,624\,mm^2$ |
| oslabená plocha | $A_{net} = b_{net} \cdot t_h = 1\,176\,mm^2$ |
| smysková plocha | $A_v = b_v \cdot t_h = 588\,mm^2$ |
| poloměr setrvačnosti | $i = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot t_h^2} = 4,04\,mm$ |
| délka | $L = 105\,mm$ |
| konzola | $\beta = 2,0$ |
| kritická délka | $L_{cr} = L \cdot \beta = 105 \cdot 2,0 = 210\,mm$ |

1.2.4.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------|
| plechy | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235\,MPa$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360\,MPa$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ | |
| | $\gamma_{m2} = 1,25$ | |

1.2.4.3 TAH

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1\,176 \cdot 360}{1,25} = 304,819\,KN$$

$$N_{Ed} = \max N_d = 3,901\,KN$$

$$N_{Ed} \leq N_{u,Rd}$$

$$3,901 < 304,819$$

VYHOVÍ (využití 1 %)

1.2.4.4 VZPĚŘ

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{210}{4,04} = 52,0$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{52,0}{93,9} = 0,554$$

$$\text{křivka vzpěrné pevnosti "c" } \gg \alpha = 0,49$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (0,554 - 0,2) + 0,554^2) = 0,740$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,740 + \sqrt{0,740^2 - 0,554^2}} = 0,813$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,813 \cdot 1\,624 \cdot 235}{1,0} = 310,273\,KN$$

$$N_{Ed} = |\min N_d| = 70,375 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

$$70,375 < 310,273$$

VYHOVÍ (využití 23 %)

1.2.4.5 SMYK

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{588 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 79,778 \text{ KN}$$

$$V_{Ed} = \max |V_{z,d}| = 60,957 \text{ KN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$60,957 < 79,778$$

VYHOVÍ (využití 76 %)

>> návrhová hodnota smykové síly je větší než 50 % návrhové plastické smykové únosnosti

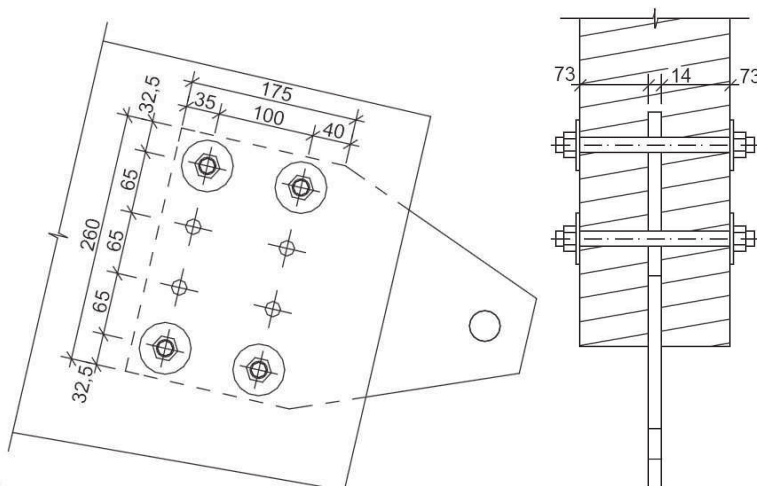
>> nutná redukce meze kluzu pro kombinaci ohybu a osově síly

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 60,957}{79,778} - 1 \right)^2 = 0,280$$

$$(1 - \rho) \cdot f_y = (1 - 0,280) \cdot 235 = 169 \text{ MPa}$$

>> vzhledem k relativně malému snížení meze kluzu a skutečnosti, že posouzení vzpěrné únosnosti je rozhodující vzhledem ke kombinaci ohybu a osově síly průřez již dále neposuzují

1.2.5 PLECH VSAZENÝ DO ŽEBRA



1.2.5.1 GEOMETRIE

| | | |
|-------|-------------------|---------------------------------------|
| LLD | tloušťka | $b = 160 \text{ mm}$ |
| | tloušťka ve spoji | $t_1 = (b - t_h) / 2 = 73 \text{ mm}$ |
| plech | tloušťka | $t_h = 14 \text{ mm}$ |

| | | |
|---------|--------|-----------------------|
| svorník | průměr | $d_s = 16 \text{ mm}$ |
| | počet | $n_s = 4$ |
| kolík | průměr | $d_k = 16 \text{ mm}$ |
| | počet | $n_k = 4$ |

1.2.5.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-----|-----------------------|-----------------------------|
| LLD | dřevo | GL24h |
| | třída provozu | 2 |
| | třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| | hodnota k_{mod} | $k_{mod} = 0,90$ |
| | hustota | $\rho = 380 \text{ kg/m}^3$ |

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_m = 1,3$ (pro spoje)

| | | |
|---------|--------------|-----------------------------|
| svorník | ocel | 4.8 |
| | mez kluzu | $f_{y,k} = 320 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_{u,k} = 400 \text{ MPa}$ |

| | | |
|-------|--------------|-----------------------------|
| kolík | ocel | E335 |
| | mez kluzu | $f_{y,k} = 300 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_{u,k} = 600 \text{ MPa}$ |

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$
 $\gamma_{m2} = 1,25$

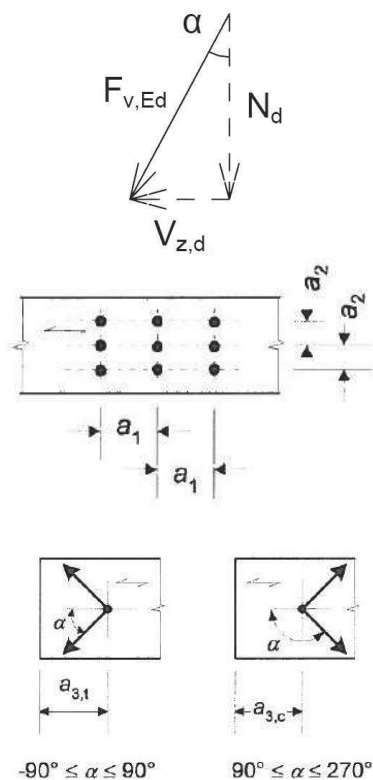
1.2.5.3 PEVNOST V OTLAČENÍ DŘEVA

$$F_{v,Ed} = \sqrt{N_d^2 + V_{z,d}^2} \quad \alpha = \text{tg}^{-1} \cdot \frac{V_{z,d}}{N_d}$$

$$a_1 = (4 + |\cos \alpha|) \cdot d \quad a_2 = 4 \cdot d$$

$$a_{3,t} = \max(7 \cdot d; 80 \text{ mm}) \quad a_{3,c} = 4 \cdot d$$

$$a_{4,t} = \max[(2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d] \quad a_{4,c} = 3 \cdot d$$



| | | maximální tlak | maximální tah | maximální posouvající síla |
|------------|----|----------------|---------------|----------------------------|
| $F_{v,Ed}$ | KN | 84,456 | 3,906 | 85,156 |
| α | ° | 33,6 | 2,8 | 45,7 |
| a_1 | mm | 77,3 | 80,0 | 75,2 |
| a_2 | mm | 64,0 | | |
| $a_{3,t}$ | mm | 112 | | |
| $a_{3,c}$ | mm | 64,0 | | |
| $a_{4,t}$ | mm | 49,7 | 48,0 | 54,9 |
| $a_{4,c}$ | mm | 48,0 | | |

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot \min f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 16^{2,6} = 162\,141 \text{ Nmm}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 380$$

$$f_{h,0,k} = 26,174 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 16 = 1,59$$

$$f_{h,1,k} = f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$\text{počet stříhových rovin} \quad n_s = 2$$

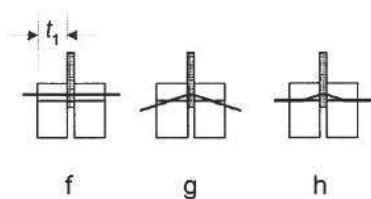
$$\text{počet řad svorníků a kolíků} \quad p = 4$$

účinný počet svorníků a kolíků v jedné řadě rovnoběžné s vlákny

$$n_{ef} = \min \left\{ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} = \min \left\{ 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{13 \cdot 16}} = \min \left\{ 1,55 \right. \right.$$

$$n_{ef} = 1,55$$

pevnost ocelové desky libovolné tloušťky jako střední prvek dvojstřížného spoje



$$F_{v,Rk}' = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rd}' = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}'}{\gamma_m}$$

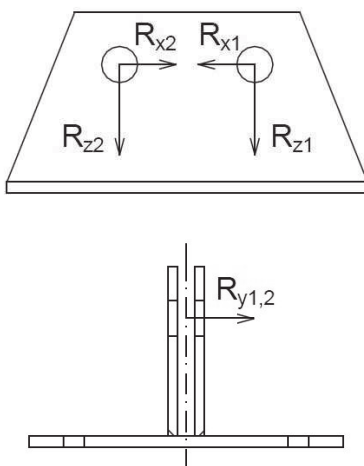
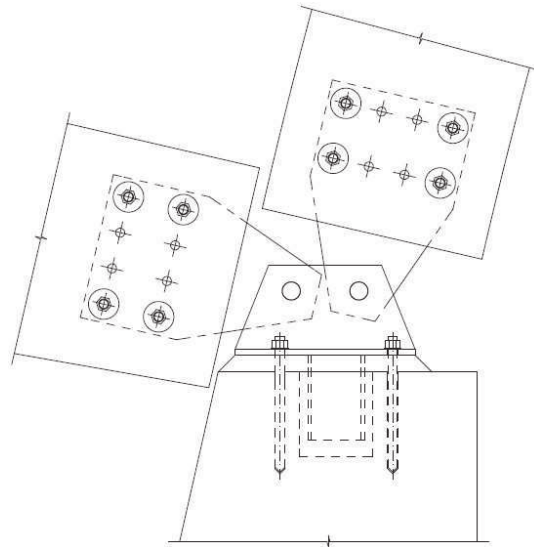
$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd}' \cdot n_s \cdot p \cdot n_{ef}$$

$$F_{v,ed} \leq F_{v,Rd}$$

| | | maximální tlak | maximální tah | maximální posouvající síla |
|-------------|-------|----------------|---------------|----------------------------|
| $f_{h,1,k}$ | MPa | 22,169 | 26,138 | 20,100 |
| $F_{v,Rk}'$ | (f) | 25,893 | 30,529 | 23,477 |
| | (g) | 13,742 | 15,680 | 12,730 |
| | (h) | 17,442 | 18,939 | 16,609 |
| $F_{v,Rd}'$ | KN | 9,514 | 10,855 | 8,813 |
| $F_{v,Rd}$ | KN | 117,974 | 134,602 | 109,281 |
| $F_{v,ed}$ | KN | 84,456 | 3,906 | 85,156 |
| využití | | 72 % | 3 % | 78 % |
| | | VYHOVÍ | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

1.3 KOTVENÍ ŽEBRA KOPULE A HALY

spoj je tvořen dvojicí plechů osazených na patní plech se smykovou zarážkou kotvený do betonového bloku pomocí kotevních šroubů, plechy budou vzájemně spojeny čepem



1.3.1 REAKCE

pozn. reakce byly získány součtem reakcí kopule a haly

maximální tlak
 $R_z = 147,995 \text{ KN}$
 odp. $R_x = -18,449 \text{ KN}$
 odp. $R_y = 2,993 \text{ KN}$

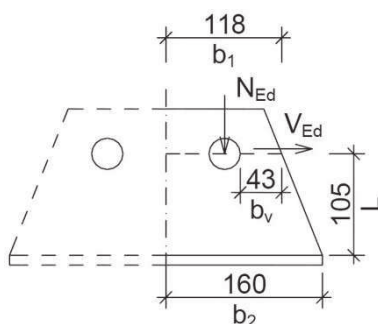
maximální tah
 $R_z = -45,739 \text{ KN}$
 odp. $R_x = -16,847 \text{ KN}$
 odp. $R_y = 6,515 \text{ KN}$

maximální posouvající síla
 odp. $R_z = 14,955 \text{ KN}$
 $R_x = -80,342 \text{ KN}$
 odp. $R_y = 4,622 \text{ KN}$

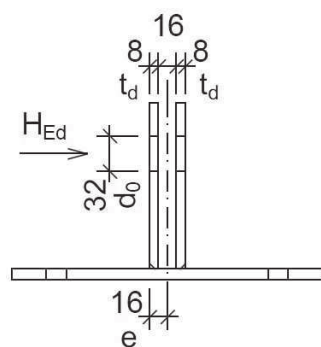
1.3.2 DOLNÍ PLECHY

1.3.2.1 GEOMETRIE

pozn. posouzení je vztaženo na 1/2 délky jednoho dolního plechu



tloušťka $t_d = 8 \text{ mm}$
 šířka v místě otvoru $b_1 = 118 \text{ mm}$
 šířka v patě $b_2 = 160 \text{ mm}$
 oslabená šířka $b_{net} = b_1 - d_0 = 86 \text{ mm}$
 šířka účinná ve smyku $b_v = b_{net} / 2 = 43 \text{ mm}$
 vzdálenost krajních vláken $e = 16 \text{ mm}$
 vzdálenost těžišť $e_1 = 12 \text{ mm}$



| | |
|----------------------|---|
| plocha | $A = b_1 \cdot t_d = 944 \text{ mm}^2$ |
| oslabená plocha | $A_{net} = b_{net} \cdot t_d = 688 \text{ mm}^2$ |
| smyková plocha | $A_v = b_v \cdot t_d = 344 \text{ mm}^2$ |
| moment setrvačnosti | $I_z = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot b_2 \cdot t_d^3 + b_2 \cdot t_d \cdot e_1^2 \right)$ $I_z = 3,82 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$ |
| modul průřezu | $W_z = I_z / e = 2,39 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$ |
| poloměr setrvačnosti | $i = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot t_d^2} = 2,31 \text{ mm}$ |
| délka | $L = 105 \text{ mm}$ |
| konzola | $\beta = 2,0$ |
| kritická délka | $L_{cr} = L \cdot \beta = 105 \cdot 2,0 = 210 \text{ mm}$ |

1.3.2.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------------------------------|---|-------------------------|
| plechy | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ $\gamma_{m2} = 1,25$ | |
| součinitel korelace | $\beta_w = 0,8$ | |

1.3.2.3 TAH

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 688 \cdot 360}{1,25} = 178,330 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} = |min R_z| / 2 = 22,387 \text{ KN} \quad \text{viz 1.1.2}$$

$$N_{Ed} \leq N_{u,Rd}$$

$$22,387 < 178,330$$

VYHOVÍ (využití 13 %)

1.3.2.4 VZPĚR

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{210}{2,31} = 90,9$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{90,9}{93,9} = 0,968$$

$$\text{křivka vzpěrné pevnosti "c" } \gg \alpha = 0,49$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\emptyset = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (0,968 - 0,2) + 0,968^2) = 1,16$$

$$\chi = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,16 + \sqrt{1,16^2 - 0,968^2}} = 0,556$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,556 \cdot 944 \cdot 235}{1,0} = 123,343 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} = \max R_z / 2 = 44,133 \text{ KN} \quad \text{viz 1.1.2}$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

$$44,133 < 123,343$$

VYHOVÍ (využití 36 %)

1.3.2.5 SMYK

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{344 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 46,673 \text{ KN}$$

$$V_{Ed} = \max |R_x| / 2 = 29,855 \text{ KN} \quad \text{viz 1.2.2}$$

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$29,855 < 46,673$$

VYHOVÍ (využití 64 %)

>> návrhová hodnota smykové síly je větší než 50 % návrhové plastické smykové únosnosti

>> nutná redukce meze kluzu pro kombinaci ohybu a osově síly

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 29,855}{46,673} - 1 \right)^2 = 0,078$$

$$(1 - \rho) \cdot f_y = (1 - 0,078) \cdot 235 = 217 \text{ MPa}$$

>> vzhledem k relativně malému snížení meze kluzu a skutečnosti, že posouzení vzpěrné únosnosti je rozhodující vzhledem ke kombinaci ohybu a osově síly průřez již dále neposuzují

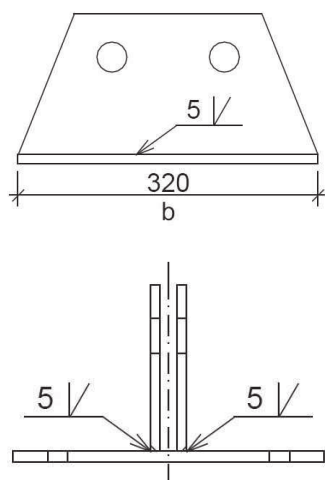
1.3.2.6 OHYB

pozn. posouzení je vztaženo na ½ délky obou dolních plechů

$$M_{c,Rd} = \frac{W_z \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,39 \cdot 10^4 \cdot 235}{1,0} = 5,617 \text{ KNm}$$

$$H_{Ed} = \max |R_y| = 4,124 \text{ KN} \quad \text{viz 1.1.2}$$

$$M_{Ed} = H_{Ed} \cdot L = 4,124 \cdot 10^3 \cdot 105 = 0,433 \text{ KNm}$$



$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$0,433 \leq 5,617$$

VYHOVÍ (využití 8 %)

1.3.2.7 SVARY

| | |
|-----------------------|--|
| nominální výška svaru | $a_{nom} = 5 \text{ mm}$ |
| účinná výška svaru | $a = a_{nom} - 2 = 3 \text{ mm}$ |
| počet svarů | $n = 2$ |
| účinná délka svaru | $l_{eff} = b - 2 \cdot a = 320 - 2 \cdot 3 = 314 \text{ mm}$ |
| účinná plocha svaru | $A_w = n \cdot a \cdot l_{eff} = 1884 \text{ mm}^2$ |

$$N_{sd} = odp |R_z| = 0 \text{ KN} \gg \text{tlaková reakce, přenesena se plechy}$$

$$V_{sd,y} = odp |R_y| = 4,622 \text{ KN}$$

$$V_{sd,z} = max |R_x| = 80,342 \text{ KN}$$

$$M_{sd,y} = V_{sd,z} \cdot L = 80,342 \cdot 10^3 \cdot 105 = 8,436 \text{ KNm}$$

$$M_{sd,z} = V_{sd,y} \cdot L = 4,622 \cdot 10^3 \cdot 105 = 0,485 \text{ KNm}$$

$$z_y = e - a_{nom} = 16 - 5 = 11 \text{ mm}$$

$$z_z = \frac{b}{2} = \frac{320}{2} = 160 \text{ mm}$$

$$I_{w,y} = n \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot a \cdot l_{eff}^3 \right)$$

$$I_{w,y} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 314^3 \right) = 1,55 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$I_{w,z} = n \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot l_{eff} \cdot a^3 + l_{eff} \cdot a \cdot z_y^2 \right)$$

$$I_{w,z} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 314 \cdot 3^3 + 314 \cdot 3 \cdot 11^2 \right) = 2,29 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{sd,z}}{A_w} = \frac{80,342 \cdot 10^3}{1884} = 42,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,1} = \tau_{\perp,1} = \frac{V_{sd,y}}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{4,622 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 1884} = 1,73 \text{ MPa}$$

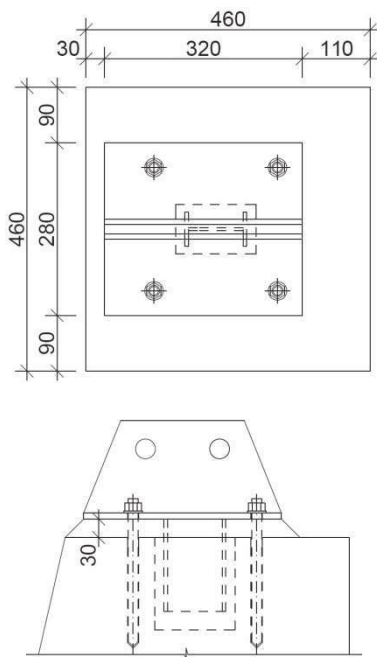
$$\sigma_{\perp,2} = \tau_{\perp,2} = \frac{M_{sd,y} \cdot z_z}{\sqrt{2} \cdot I_{w,y}} = \frac{8,436 \cdot 10^6 \cdot 160}{\sqrt{2} \cdot 1,55 \cdot 10^7} = 61,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,3} = \tau_{\perp,3} = \frac{M_{sd,z} \cdot z_y}{\sqrt{2} \cdot I_{w,z}} = \frac{0,485 \cdot 10^6 \cdot 11}{\sqrt{2} \cdot 2,29 \cdot 10^5} = 16,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 1,73 + 61,6 + 16,5 = 79,8 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$



$$\sqrt{79,8^2 + 3 \cdot 79,8^2 + 3 \cdot 42,6^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$176 < 360$$

VYHOVÍ (využití 49 %)

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25}$$

$$79,8 < 259$$

VYHOVÍ (využití 31 %)

1.3.3 PATNÍ DESKA

1.3.3.1 GEOMETRIE

| | |
|----------------------------|--|
| tloušťka patní desky | $t = 10 \text{ mm}$ |
| tloušťka podlití | $t_{pod} = 30 \text{ mm}$ |
| šířka patní desky | $a = 280 \text{ mm}$ |
| délka patní desky | $b = 320 \text{ mm}$ |
| šířka betonového bloku | $a_c = 460 \text{ mm}$ |
| délka betonového bloku | $b_c = 460 \text{ mm}$ |
| výška betonového bloku | $h_c = 2\,200 \text{ mm}$ |
| vzdálenost desky od okrajů | $a_r = 90 \text{ mm}$ |
| | $b_r = 30 \text{ mm}$ |
| šířka dolních plechů | $a_{pd} = t_h + 2 \cdot t_d + 2 \cdot 1 = 32 \text{ mm}$ |
| délka dolních plechů | $b_{pd} = b = 320 \text{ mm}$ |

1.3.3.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------|--------------|-------------------------|
| patní deska | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |

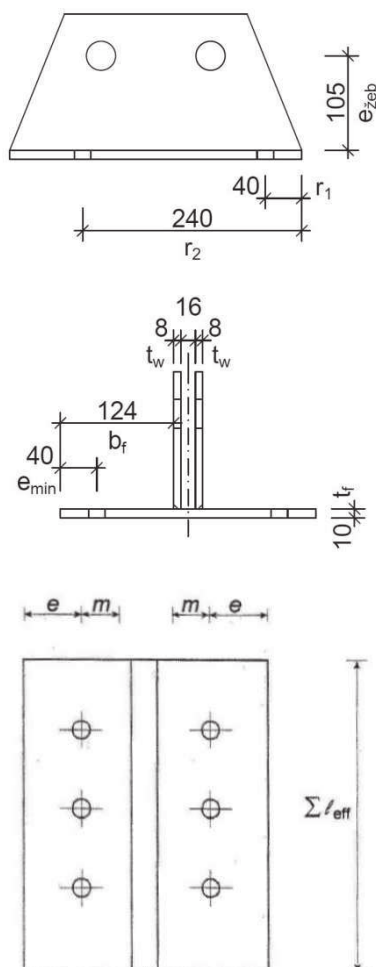
součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{m0} = 1,0$

| | | |
|-------|-----------------|---------------------------|
| beton | beton | C25/30 |
| | pevnost v tlaku | $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ |

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{mc} = 1,5$

1.3.3.3 ÚNOSNOST V TLAKU

$$a_1 = \min \begin{Bmatrix} a + 2 \cdot a_r \\ 5 \cdot a \\ a + h \\ 5 \cdot b_1 \end{Bmatrix} = \min \begin{Bmatrix} 280 + 2 \cdot 90 \\ 5 \cdot 280 \\ 280 + 2\,200 \\ 5 \cdot 380 \end{Bmatrix} = 460 \text{ mm}$$



$$b_1 = \min \begin{cases} b + 2 \cdot b_r \\ 5 \cdot b \\ b + h \\ 5 \cdot a_1 \end{cases} = \min \begin{cases} 320 + 2 \cdot 30 \\ 5 \cdot 320 \\ 320 + 2 \cdot 200 \\ 5 \cdot 460 \end{cases} = 380 \text{ mm}$$

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{460 \cdot 380}{280 \cdot 320}} = 1,40$$

$$f_j = \frac{\beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_{mc}} = \frac{0,67 \cdot 1,40 \cdot 25}{1,5} = 15,6 \text{ MPa}$$

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot \gamma_{m0} \cdot f_j}} = 10 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 1,0 \cdot 15,6}} = 22,4 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = (a_{pd} + 2 \cdot c) \cdot b_{pd} = (32 + 2 \cdot 22,4) \cdot 320$$

$$A_{eff} = 24\,576 \text{ mm}^2$$

$$F_{Rd,c} = A_{eff} \cdot f_j = 24\,576 \cdot 15,6 = 383,386 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \max R_z = 147,995 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,c}$$

$$147,995 \leq 383,386$$

VYHOVÍ (využití 39 %)

1.3.4 NÁHRADNÍ T PROFIL V TAHU

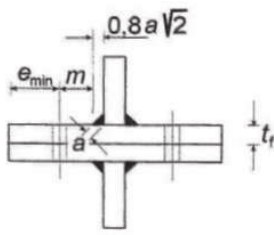
1.3.4.1 GEOMETRIE

| | |
|-------------------------|---|
| tloušťka pásnice | $t_f = t = 10 \text{ mm}$ |
| tloušťka stojiny | $t_w = t_d = 8 \text{ mm}$ |
| působíště síly od žebra | $e_{žeb} = 105 \text{ mm}$ |
| ramena sil | $r_1 = 40 \text{ mm}$ |
| | $r_2 = 240 \text{ mm}$ |
| parametry pásnice | $b_f = (a - 2 \cdot t_w - 16)/2$ |
| | $b_f = (280 - 2 \cdot 8 - 16)/2 = 124 \text{ mm}$ |
| | $e_{min} = e = e_1 = 40 \text{ mm}$ |
| | $m = b_f - e_{min}$ |
| | $m = 124 - 40 = 84 \text{ mm}$ |
| | $n = e_{min} \leq 1,25 \cdot m$ |
| | $n = 40 \text{ mm}$ |

1.3.4.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------|--------------|-------------------------|
| plech | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{m0} = 1,0$



1.3.4.3 VNITŘNÍ SÍLY

$$F_{t,1,Ed} = \frac{|\min R_z|}{2} = 22,870 \text{ KN}$$

$$M_{Ed} = \text{odp } |R_x| \cdot e_{zeb} = |16,847 \cdot 10^3| \cdot 105 = 1,769 \text{ KNm}$$

$$M_{Ed} = \left(\frac{r_1^2 \cdot F_{t,2,Ed}}{r_2} + F_{t,2,Ed} \cdot r_2 \right) = \left(\frac{40^2 \cdot F_{t,2,Ed}}{240} + F_{t,2,Ed} \cdot 240 \right)$$

$$1,769 \cdot 10^6 = F_{t,2,Ed} \cdot 246,667 \gg F_{t,2,Ed} = 7,172 \text{ KN}$$

$$F_{t,Ed} = F_{t,1,Ed} + F_{t,2,Ed} = 30,042 \text{ KN}$$

1.3.4.4 NÁVRHOVÉ ÚNOSNOSTI

$$l_{eff,cp} = \min(2 \cdot \pi \cdot m; \pi \cdot m + 2 \cdot e_1)$$

$$l_{eff,cp} = \min(2 \cdot \pi \cdot 84; \pi \cdot 84 + 2 \cdot 40) = \min(528; 344)$$

$$l_{eff,cp} = 344 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc} = \min(4 \cdot m + 1,25 \cdot e; 2 \cdot m + 0,625 \cdot e + e_1)$$

$$l_{eff,nc} = \min(4 \cdot 84 + 1,25 \cdot 40; 2 \cdot 84 + 0,625 \cdot 40 + 40)$$

$$l_{eff,nc} = \min(386; 233)$$

$$l_{eff,nc} = 233 \text{ mm}$$

1. ZPŮSOB

$$\sum l_{eff,1} = l_{eff,1} = l_{eff,nc} \leq l_{eff,cp}$$

$$\sum l_{eff,1} = 233 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 233 \cdot 10^2 \cdot 235}{1,0}$$

$$M_{pl,1,Rd} = 1\,368\,875 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 1\,368\,875}{84} = 65,185 \text{ KN}$$

2. ZPŮSOB

$$\sum l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc}$$

$$\sum l_{eff,2} = 233 \text{ mm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 233 \cdot 10^2 \cdot 235}{1,0}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 1\,368\,875 \text{ Nmm}$$

$$\sum F_{t,Rd} = N_{Rd,c} / 2 = 73,648 / 2 = 36,824 \text{ KN} \quad \text{viz 1.3.5.6}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 1\,368\,875 + 40 \cdot 36,824 \cdot 10^3}{84 + 40}$$

$$F_{T,2,Rd} = 33,957 \text{ KN}$$

3. ZPŮSOB

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 36,824 \text{ KN}$$

$$F_{T,Rd} = \min (F_{T,1,Rd} ; F_{T,2,Rd} ; F_{T,3,Rd})$$

$$F_{T,Rd} = \min (65,185 ; 33,957 ; 36,824)$$

$$F_{T,Rd} = 33,957 \text{ KN}$$

POSOUZENÍ

$$F_{t,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

$$30,042 < 33,957$$

VYHOVÍ (využití 88 %)

1.3.5 KOTEVNÍ ŠROUBY

1.3.5.1 GEOMETRIE

HIT-Z M16 x 240

| | | |
|-------|---------------------|--------------------------|
| šroub | průměr | $d = 16 \text{ mm}$ |
| | průměr otvoru | $d_o = 18 \text{ mm}$ |
| | průměr hlavy šroubu | $d_m = 25,9 \text{ mm}$ |
| | plocha jádra | $A_s = 157 \text{ mm}^2$ |
| | hloubka otvoru | $h_o = 180 \text{ mm}$ |
| | tloušťka podložky | $t_p = 3 \text{ mm}$ |
| | počet | $n = 4$ |

1.3.5.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|--------|--------------|----------------------------|
| šroub | ocel | 6.8 |
| | mez kluzu | $f_{yb} = 480 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_{ub} = 600 \text{ MPa}$ |
| plechy | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$
 $\gamma_{m2} = 1,25$

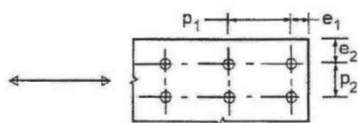
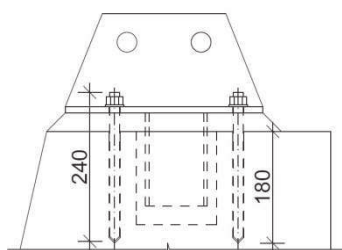
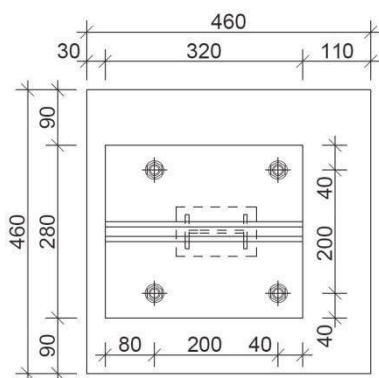
1.3.5.3 ROZTEČE V PATNÍM PLECHU

$$e_1 = e_2 = 1,2 \cdot d_o = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2,2 \cdot d_o = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2,4 \cdot d_o = 2,4 \cdot 18 = 43,2 \text{ mm}$$

volím $e_1 = e_2 = 40 \text{ mm (80 mm)}$ $p_1 = p_2 = 200 \text{ mm}$



1.3.5.4 ÚNOSNOST V TAHU

$$F_{t,Rd}' = \frac{k_2 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 157 \cdot 600}{1,25} = 67,824 \text{ KN}$$

$$F_{t,Rd} = n \cdot F_{t,Rd}' = 4 \cdot 67,824 = 271,296 \text{ KN}$$

$$F_{t,Ed} = |\min R_z| = 45,739 \text{ KN}$$

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$$

$$45,739 < 271,296$$

VYHOVÍ (využití 17 %)

1.3.5.5 ÚNOSNOST V PROTLAČENÍ

$$B_{p,Rd}' = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 25,9 \cdot 3 \cdot 360}{1,25} = 42,181 \text{ KN}$$

$$B_{p,Rd} = n \cdot B_{p,Rd}' = 4 \cdot 42,181 = 168,724 \text{ KN}$$

$$B_{p,Ed} = |\min R_z| = 45,739 \text{ KN}$$

$$B_{p,Ed} \leq B_{p,Rd}$$

$$45,739 < 168,724$$

VYHOVÍ (využití 27 %)

1.3.5.6 ÚNOSNOST V SOUDRŽNOSTI

pozn. posouzení bylo provedeno pomocí softwaru HILTI PROFIS ANCHOR

>> rozhodující je porušení vytržením betonového kuželu

garantovaná únosnost skupiny kotev $N_{Rd,c} = 73,648 \text{ KN}$
viz 4.1

pozn. v posudku není zahrnut vliv otvoru pro smykovou zarážku

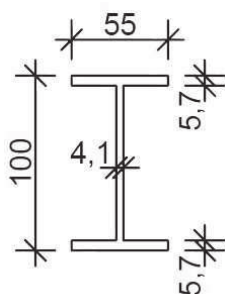
>> toto je vykompenzováno 38 % rezervou únosnosti

$$N_{Sd} = |\min R_z| = 45,739 \text{ KN}$$

$$N_{Sd} \leq N_{Rd,c}$$

$$45,739 < 73,648$$

VYHOVÍ (využití 62 %)



1.3.6 SMYKOVÁ ZARÁŽKA

1.3.6.1 GEOMETRIE

| | | |
|---------|------------------|------------------------|
| IPE 100 | šířka profilu | $b = 55 \text{ mm}$ |
| | výška profilu | $h = 100 \text{ mm}$ |
| | tloušťka pásnice | $t_f = 5,7 \text{ mm}$ |
| | tloušťka stojiny | $t_w = 4,1 \text{ mm}$ |

1.3.6.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|---------|--------------|-------------------------|
| IPE 100 | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$
 $\gamma_{m2} = 1,25$

součinitel korelace $\beta_w = 0,8$

| | | |
|-------|-----------------|---------------------------|
| beton | beton | C25/30 |
| | pevnost v tlaku | $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ |

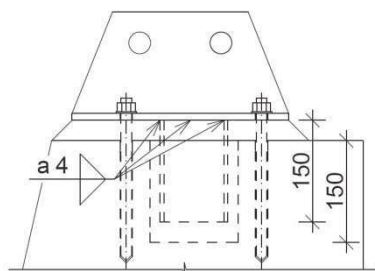
součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{mc} = 1,5$

1.3.6.3 NÁVRH VÝŠKY

$$V_{sd,z} = \max |R_x| = 80,342 \text{ KN}$$

$$l_{min} = \frac{V_{sd,z}}{b \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{mc}}} + t_{pod} = \frac{80,342 \cdot 10^3}{55 \cdot \frac{25}{1,5}} + 30 = 118 \text{ mm}$$

volím $l = 150 \text{ mm}$



1.3.6.4 SVARY

účinná výška svaru $a = 4 \text{ mm}$

počet svarů $n = 2$

účinná délka svaru stojiny $l_{eff,1} = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot a$
 $l_{eff,1} = 100 - 2 \cdot 5,7 - 2 \cdot 3 = 82,6 \text{ mm}$

účinná délka svarů pásnice $l_{eff,2} = b - t_w = 55 - 4,1 = 50,9 \text{ mm}$
 $l_{eff,3} = b = 55 \text{ mm}$

účinná plocha svaru stojiny $A_{w,z} = n \cdot a \cdot l_{eff,1} = 661 \text{ mm}^2$

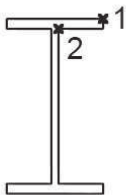
účinná plocha svaru pásnice $A_{w,y} = n \cdot a \cdot (l_{eff,2} + l_{eff,3}) = 847 \text{ mm}^2$

účinná plocha svarů $A_w = A_{w,z} + A_{w,y} = 1508 \text{ mm}^2$

$$V_{sd,y} = \text{odp } |R_y| = 4,622 \text{ KN}$$

$$M_{sd,y} = V_{sd,z} \cdot \left(\frac{l - t_{pod}}{2} + t_{pod} \right) = 80,342 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{150 - 30}{2} + 30 \right)$$

$$M_{sd,y} = 7,231 \text{ KNm}$$



$$M_{sd,z} = V_{sd,y} \cdot \left(\frac{l - t_{pod}}{2} + t_{pod} \right) = 4,622 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{150 - 30}{2} + 30 \right)$$

$$M_{sd,z} = 0,416 \text{ KNm}$$

$$z_{y,1} = \frac{b}{2} = \frac{55}{2} = 27,5 \text{ mm}$$

$$z_{y,2} = \frac{t_w}{2} = \frac{4,1}{2} = 2,05 \text{ mm}$$

$$z_{z,1} = \frac{h}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ mm}$$

$$z_{z,2} = z_{z,1} - t_f = 50 - 5,7 = 44,3 \text{ mm}$$

$$I_{w,y} = n \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot a \cdot l_{eff,1}^3 + \frac{1}{12} \cdot l_{eff,2} \cdot a^3 + l_{eff,2} \cdot a \cdot z_{z,2}^2 + \frac{1}{12} \cdot l_{eff,3} \cdot a^3 + l_{eff,3} \cdot a \cdot z_{z,1}^2 \right)$$

$$I_{w,y} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 4 \cdot 82,6^3 + \frac{1}{12} \cdot 50,9 \cdot 4^3 + 50,9 \cdot 4 \cdot 44,3^2 + \frac{1}{12} \cdot 55 \cdot 4^3 + 55 \cdot 4 \cdot 50^2 \right)$$

$$I_{w,y} = 2,28 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{w,z} = n \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot l_{eff,1} \cdot a^3 + l_{eff,1} \cdot a \cdot z_{y,2}^2 + \frac{1}{12} \cdot a \cdot l_{eff,2}^3 + \frac{1}{12} \cdot a \cdot l_{eff,3}^3 \right)$$

$$I_{w,z} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 82,6 \cdot 4^3 + 82,6 \cdot 4 \cdot 2,05^2 + \frac{1}{12} \cdot 4 \cdot 50,9^3 + \frac{1}{12} \cdot 4 \cdot 55^3 \right)$$

$$I_{w,z} = 2,02 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

BOD 1

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{sd,y}}{A_{w,y}} = \frac{4,622 \cdot 10^3}{847} = 5,46 \text{ MPa}$$

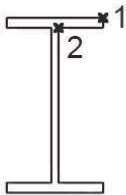
$$\sigma_{\perp,1} = \tau_{\perp,1} = \frac{M_{sd,y} \cdot z_{z,1}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,y}} = \frac{7,231 \cdot 10^6 \cdot 50}{\sqrt{2} \cdot 2,28 \cdot 10^6} = 112 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,2} = \tau_{\perp,2} = \frac{M_{sd,z} \cdot z_{y,1}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,z}} = \frac{0,416 \cdot 10^6 \cdot 27,5}{\sqrt{2} \cdot 2,02 \cdot 10^5} = 40,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 112 + 40,0 = 152 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$



$$\sqrt{152^2 + 3 \cdot 152^2 + 3 \cdot 5,46^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$304 < 360$$

VYHOVÍ (využití 84 %)

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25}$$

$$152 < 259$$

VYHOVÍ (využití 59 %)

BOD 2

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{sd,z}}{A_{w,z}} = \frac{80,342 \cdot 10^3}{661} = 122 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,1} = \tau_{\perp,1} = \frac{M_{sd,y} \cdot z_{z,2}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,y}} = \frac{7,231 \cdot 10^6 \cdot 44,3}{\sqrt{2} \cdot 2,28 \cdot 10^6} = 99,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,2} = \tau_{\perp,2} = \frac{M_{sd,z} \cdot z_{y,2}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,z}} = \frac{0,416 \cdot 10^6 \cdot 2,05}{\sqrt{2} \cdot 2,02 \cdot 10^5} = 2,99 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 99,3 + 2,99 = 102 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{102^2 + 3 \cdot 102^2 + 3 \cdot 122^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$294 < 360$$

VYHOVÍ (využití 82 %)

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25}$$

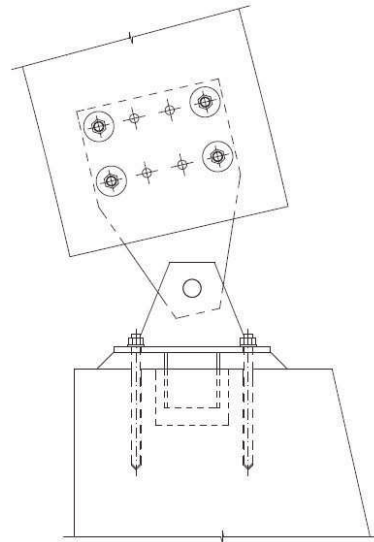
$$102 < 259$$

VYHOVÍ (využití 39 %)

2 SPOJE KOPULE

2.1 KOTVENÍ ŽEBRA KOPULE

spoj je tvořen v horní části plechem vsazeným do žebra a zajištěným svorníky a kolíky a v dolní části dvojicí plechů osazených na patní plech se smykovou zarážkou kotvený do betonového bloku pomocí kotevních šroubů, plechy budou vzájemně spojeny čepem

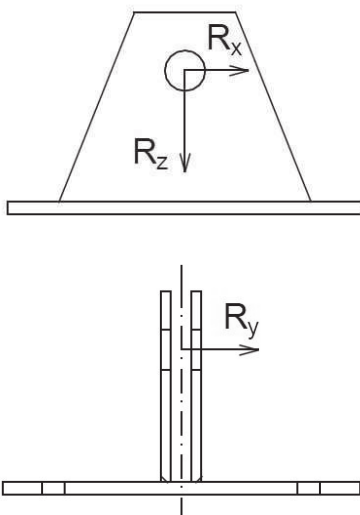


2.1.1 VNITŘNÍ SÍLY

| | |
|---|-------------------------------------|
| maximální tlak (žebro A05, KV9) | $N_d = -95,303 \text{ KN}$ |
| | odp. $V_{y,d} = -2,495 \text{ KN}$ |
| | odp. $V_{z,d} = -20,351 \text{ KN}$ |
| maximální tah (žebro A04, KV29) | $N_d = 48,276 \text{ KN}$ |
| | odp. $V_{y,d} = -4,124 \text{ KN}$ |
| | odp. $V_{z,d} = 10,033 \text{ KN}$ |
| maximální posouvající síla (žebro A05, KV25) | odp. $N_d = -86,584 \text{ KN}$ |
| | odp. $V_{y,d} = -3,336 \text{ KN}$ |
| | $V_{z,d} = -26,676 \text{ KN}$ |

2.1.2 REAKCE

| | |
|---|---------------------------------|
| maximální tlak (žebro A05, KV9) | $R_z = 88,266 \text{ KN}$ |
| | odp. $R_x = 41,261 \text{ KN}$ |
| | odp. $R_y = 2,495 \text{ KN}$ |
| maximální tah (žebro A04, KV29) | $R_z = -44,774 \text{ KN}$ |
| | odp. $R_x = -20,632 \text{ KN}$ |
| | odp. $R_y = 4,124 \text{ KN}$ |
| maximální posouvající síla (žebro A05, KV25) | odp. $R_z = 78,350 \text{ KN}$ |
| | $R_x = 45,461 \text{ KN}$ |
| | odp. $R_y = 3,336 \text{ KN}$ |



2.1.3 ČEPOVÝ SPOJ

viz 1.1.3

2.1.4 HORNÍ PLECH

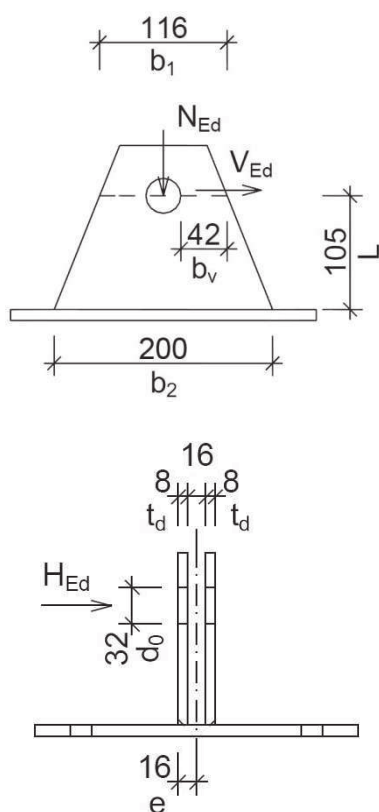
viz 1.1.4

2.1.5 PLECH VSAZENÝ DO ŽEBRA

viz 1.1.5

2.1.6 DOLNÍ PLECHY

2.1.6.1 GEOMETRIE



| | |
|----------------------------|---|
| tloušťka | $t_d = 8 \text{ mm}$ |
| šířka v místě otvoru | $b_1 = 116 \text{ mm}$ |
| šířka v patě | $b_2 = 200 \text{ mm}$ |
| oslabená šířka | $b_{net} = b_1 - d_0 = 84 \text{ mm}$ |
| šířka účinná ve smyku | $b_v = b_{net} / 2 = 42 \text{ mm}$ |
| vzdálenost krajních vláken | $e = 16 \text{ mm}$ |
| vzdálenost těžišť | $e_1 = 12 \text{ mm}$ |
| plocha | $A = b_1 \cdot t_d = 928 \text{ mm}^2$ |
| oslabená plocha | $A_{net} = b_{net} \cdot t_d = 672 \text{ mm}^2$ |
| smyková plocha | $A_v = b_v \cdot t_d = 336 \text{ mm}^2$ |
| moment setrvačnosti | $I_z = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot b_2 \cdot t_d^3 + b_2 \cdot t_d \cdot e_1^2 \right)$ $I_z = 4,78 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$ |
| modul průřezu | $W_z = I_z / e = 2,99 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$ |
| poloměr setrvačnosti | $i = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot t_d^2} = 2,31 \text{ mm}$ |
| délka | $L = 105 \text{ mm}$ |
| konzola | $\beta = 2,0$ |
| kritická délka | $L_{cr} = L \cdot \beta = 105 \cdot 2,0 = 210 \text{ mm}$ |

2.1.6.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------------------------------|---|-------------------------|
| plechy | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ $\gamma_{m2} = 1,25$ | |
| součinitel korelace | $\beta_w = 0,8$ | |

2.1.6.3 TAH

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 672 \cdot 360}{1,25} = 174,182 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = |\min R_z|/2 = 22,387 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{u,Rd}$$

$$22,387 < 174,182$$

VYHOVÍ (využití 13 %)

2.1.6.4 VZPĚR

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{210}{2,31} = 90,9$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{90,9}{93,9} = 0,968$$

$$\text{křivka vzpěrné pevnosti "c" } \gg \alpha = 0,49$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (0,968 - 0,2) + 0,968^2) = 1,16$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,16 + \sqrt{1,16^2 - 0,968^2}} = 0,556$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,556 \cdot 928 \cdot 235}{1,0} = 121,252 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} = \max R_z/2 = 44,133 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

$$44,133 < 121,252$$

VYHOVÍ (využití 36 %)

2.1.6.5 SMYK

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{336 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 45,588 \text{ KN}$$

$$V_{Ed} = \max |R_x|/2 = 22,731 \text{ KN}$$

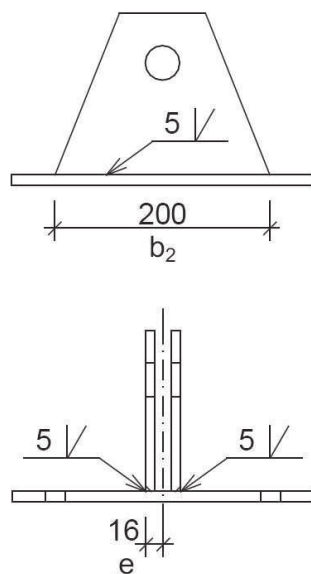
$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$22,731 < 45,588$$

VYHOVÍ (využití 50 %)

2.1.6.6 OHYB

$$M_{c,Rd} = \frac{W_z \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,99 \cdot 10^4 \cdot 235}{1,0} = 7,027 \text{ KNm}$$



$$H_{Ed} = \max |R_y| = 4,124 \text{ KN}$$

$$M_{Ed} = H_{Ed} \cdot L = 4,124 \cdot 10^3 \cdot 105 = 0,433 \text{ KNm}$$

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$0,433 \leq 7,027$$

VYHOVÍ (využití 6 %)

2.1.6.7 SVARY

$$\text{nominální výška svaru} \quad a_{nom} = 5 \text{ mm}$$

$$\text{účinná výška svaru} \quad a = a_{nom} - 2 = 3 \text{ mm}$$

$$\text{počet svarů} \quad n = 2$$

$$\text{účinná délka svaru} \quad l_{eff} = b_2 - 2 \cdot a = 200 - 2 \cdot 3 = 194 \text{ mm}$$

$$\text{účinná plocha svaru} \quad A_w = n \cdot a \cdot l_{eff} = 1164 \text{ mm}^2$$

$$N_{sd} = odp |R_z| = 0 \text{ KN} \gg \text{tlaková reakce, přenesení se plechy}$$

$$V_{sd,y} = odp |R_y| = 3,336 \text{ KN}$$

$$V_{sd,z} = \max |R_x| = 45,461 \text{ KN}$$

$$M_{sd,y} = V_{sd,z} \cdot L = 45,461 \cdot 10^3 \cdot 105 = 4,773 \text{ KNm}$$

$$M_{sd,z} = V_{sd,y} \cdot L = 3,336 \cdot 10^3 \cdot 105 = 0,350 \text{ KNm}$$

$$z_y = e - a_{nom} = 16 - 5 = 11 \text{ mm}$$

$$z_z = \frac{b_2}{2} = \frac{200}{2} = 100 \text{ mm}$$

$$I_{w,y} = n \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot a \cdot l_{eff}^3 \right)$$

$$I_{w,y} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 194^3 \right) = 3,65 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{w,z} = n \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot l_{eff} \cdot a^3 + l_{eff} \cdot a \cdot z_y^2 \right)$$

$$I_{w,z} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 194 \cdot 3^3 + 194 \cdot 3 \cdot 11^2 \right) = 1,42 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{||} = \frac{V_{sd,z}}{A_w} = \frac{45,461 \cdot 10^3}{1164} = 39,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,1} = \tau_{\perp,1} = \frac{V_{sd,y}}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{3,336 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 1164} = 2,03 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,2} = \tau_{\perp,2} = \frac{M_{sd,y} \cdot z_z}{\sqrt{2} \cdot I_{w,y}} = \frac{4,773 \cdot 10^6 \cdot 100}{\sqrt{2} \cdot 3,65 \cdot 10^6} = 92,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,3} = \tau_{\perp,3} = \frac{M_{sd,z} \cdot z_y}{\sqrt{2} \cdot I_{w,z}} = \frac{0,350 \cdot 10^6 \cdot 11}{\sqrt{2} \cdot 1,42 \cdot 10^5} = 19,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 2,03 + 92,5 + 19,2 = 114 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{114^2 + 3 \cdot 114^2 + 3 \cdot 39,1^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$238 < 360$$

VYHOVÍ (využití 66 %)

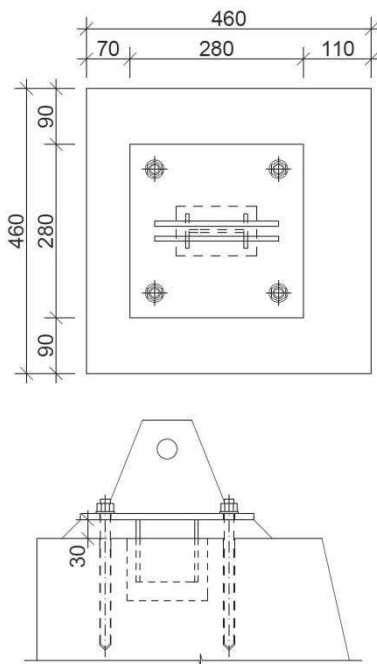
$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25}$$

$$114 < 259$$

VYHOVÍ (využití 44 %)

2.1.7 PATNÍ DESKA

2.1.7.1 GEOMETRIE



tloušťka patní desky

$$t = 10 \text{ mm}$$

tloušťka podlití

$$t_{pod} = 30 \text{ mm}$$

šířka patní desky

$$a = 280 \text{ mm}$$

délka patní desky

$$b = 280 \text{ mm}$$

šířka betonového bloku

$$a_c = 460 \text{ mm}$$

délka betonového bloku

$$b_c = 460 \text{ mm}$$

výška betonového bloku

$$h_c = 2200 \text{ mm}$$

vzdálenost desky od okrajů

$$a_r = 90 \text{ mm}$$

$$b_r = 70 \text{ mm}$$

šířka dolních plechů

$$a_{pd} = t_h + 2 \cdot t_d + 2 \cdot 1 = 32 \text{ mm}$$

délka dolních plechů

$$b_{pd} = b_2 = 200 \text{ mm}$$

2.1.7.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

patní deska ocel

S235

mez kluzu

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

mez pevnosti

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

součinitele spolehlivosti materiálu

$$\gamma_{m0} = 1,0$$

beton

beton

C25/30

pevnost v tlaku

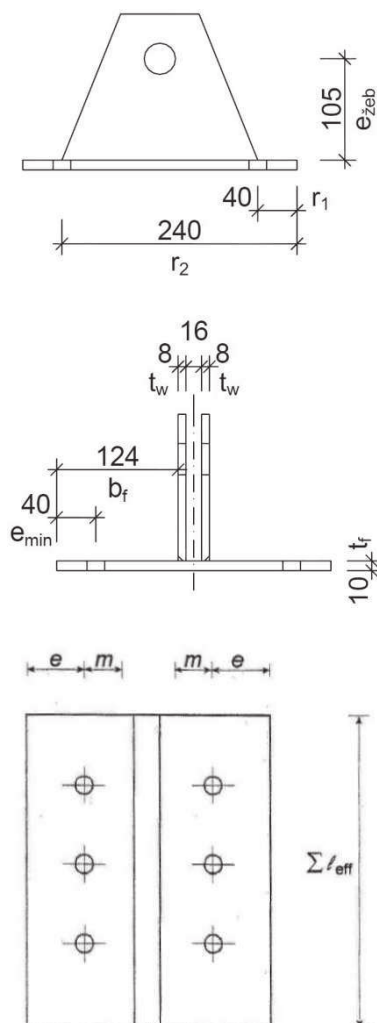
$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

součinitele spolehlivosti materiálu

$$\gamma_{mc} = 1,5$$

2.1.7.3 ÚNOSNOST V TLAKU

$$a_1 = \min \begin{Bmatrix} \frac{a + 2 \cdot a_r}{5 \cdot a} \\ \frac{a + h}{5 \cdot b_1} \end{Bmatrix} = \min \begin{Bmatrix} \frac{280 + 2 \cdot 90}{5 \cdot 280} \\ \frac{280 + 2200}{5 \cdot 420} \end{Bmatrix} = 460 \text{ mm}$$



$$b_1 = \min \begin{cases} b + 2 \cdot b_r \\ 5 \cdot b \\ b + h \\ 5 \cdot a_1 \end{cases} = \min \begin{cases} 280 + 2 \cdot 70 \\ 5 \cdot 280 \\ 280 + 2 \cdot 200 \\ 5 \cdot 460 \end{cases} = 420 \text{ mm}$$

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{460 \cdot 420}{280 \cdot 280}} = 1,57$$

$$f_j = \frac{\beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_{mc}} = \frac{0,67 \cdot 1,57 \cdot 25}{1,5} = 17,5 \text{ MPa}$$

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot \gamma_{m0} \cdot f_j}} = 10 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 1,0 \cdot 17,5}} = 21,2 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = (a_{pd} + 2 \cdot c) \cdot (b_{pd} + 2 \cdot c) = (32 + 2 \cdot 21,2) \cdot (200 + 2 \cdot 21,2)$$

$$A_{eff} = 18\,035 \text{ mm}^2$$

$$F_{Rd,c} = A_{eff} \cdot f_j = 18\,035 \cdot 17,5 = 315,613 \text{ KN}$$

$$F_{Ed} = \max R_z = 88,266 \text{ KN}$$

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,c}$$

$$88,266 \leq 315,613$$

VYHOVÍ (využití 28 %)

2.1.8 NÁHRADNÍ T PROFIL V TAHU

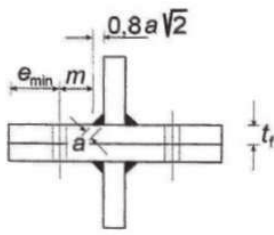
2.1.8.1 GEOMETRIE

| | |
|-------------------------|---|
| tloušťka pásnice | $t_f = t = 10 \text{ mm}$ |
| tloušťka stojiny | $t_w = t_d = 8 \text{ mm}$ |
| působíště síly od žebra | $e = 105 \text{ mm}$ |
| ramena sil | $r_1 = 40 \text{ mm}$ |
| | $r_2 = 240 \text{ mm}$ |
| parametry pásnice | $b_f = (a - 2 \cdot t_w - 16)/2$ |
| | $b_f = (280 - 2 \cdot 8 - 16)/2 = 124 \text{ mm}$ |
| | $e_{min} = e = e_1 = 40 \text{ mm}$ |
| | $m = b_f - e_{min}$ |
| | $m = 124 - 40 = 84 \text{ mm}$ |
| | $n = e_{min} \leq 1,25 \cdot m$ |
| | $n = 40 \text{ mm}$ |

2.1.8.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------|--------------|-------------------------|
| plech | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |

$$\text{součinitele spolehlivosti materiálu} \quad \gamma_{m0} = 1,0$$



2.1.8.3 VNITŘNÍ SÍLY

$$F_{t,1,Ed} = \frac{|\min R_z|}{2} = 22,387 \text{ KN}$$

$$M_{Ed} = \text{odp } |R_x| \cdot e = |20,632 \cdot 10^3| \cdot 105 = 2,166 \text{ KNm}$$

$$M_{Ed} = \left(\frac{r_1^2 \cdot F_{t,2,Ed}}{r_2} + F_{t,2,Ed} \cdot r_2 \right) = \left(\frac{40^2 \cdot F_{t,2,Ed}}{240} + F_{t,2,Ed} \cdot 240 \right)$$

$$2,166 \cdot 10^6 = F_{t,2,Ed} \cdot 246,667 \gg F_{t,2,Ed} = 8,781 \text{ KN}$$

$$F_{t,Ed} = F_{t,1,Ed} + F_{t,2,Ed} = 31,168 \text{ KN}$$

2.1.8.4 NÁVRHOVÉ ÚNOSNOSTI

$$l_{eff,cp} = \min (2 \cdot \pi \cdot m ; \pi \cdot m + 2 \cdot e_1)$$

$$l_{eff,cp} = \min (2 \cdot \pi \cdot 84 ; \pi \cdot 84 + 2 \cdot 40) = \min (528 ; 344)$$

$$l_{eff,cp} = 344 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc} = \min (4 \cdot m + 1,25 \cdot e ; 2 \cdot m + 0,625 \cdot e + e_1)$$

$$l_{eff,nc} = \min (4 \cdot 84 + 1,25 \cdot 40 ; 2 \cdot 84 + 0,625 \cdot 40 + 40)$$

$$l_{eff,nc} = \min (386 ; 233)$$

$$l_{eff,nc} = 233 \text{ mm}$$

1. ZPŮSOB

$$\sum l_{eff,1} = l_{eff,1} = l_{eff,nc} \leq l_{eff,cp}$$

$$\sum l_{eff,1} = 233 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 233 \cdot 10^2 \cdot 235}{1,0}$$

$$M_{pl,1,Rd} = 1\,368\,875 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 1\,368\,875}{84} = 65,185 \text{ KN}$$

2. ZPŮSOB

$$\sum l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc}$$

$$\sum l_{eff,2} = 233 \text{ mm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 233 \cdot 10^2 \cdot 235}{1,0}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 1\,368\,875 \text{ Nmm}$$

$$\sum F_{t,Rd} = N_{Rd,c} / 2 = 84,979 / 2 = 42,490 \text{ KN} \quad \text{viz 2.1.9.6}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 1\,368\,875 + 40 \cdot 42,490 \cdot 10^3}{84 + 40}$$

$$F_{T,2,Rd} = 35,785 \text{ KN}$$

3. ZPŮSOB

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 42,490 \text{ KN}$$

$$F_{T,Rd} = \min (F_{T,1,Rd} ; F_{T,2,Rd} ; F_{T,3,Rd})$$

$$F_{T,Rd} = \min (65,185 ; 35,785 ; 42,490)$$

$$F_{T,Rd} = 35,785 \text{ KN}$$

POSOUZENÍ

$$F_{t,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

$$31,168 < 35,785$$

VYHOVÍ (využití 87 %)

2.1.9 KOTEVNÍ ŠROUBY

2.1.9.1 GEOMETRIE

HIT-Z M16 x 240

| | | |
|-------|---------------------|--------------------------|
| šroub | průměr | $d = 16 \text{ mm}$ |
| | průměr otvoru | $d_o = 18 \text{ mm}$ |
| | průměr hlavy šroubu | $d_m = 25,9 \text{ mm}$ |
| | plocha jádra | $A_s = 157 \text{ mm}^2$ |
| | hloubka otvoru | $h_o = 180 \text{ mm}$ |
| | tloušťka podložky | $t_p = 3 \text{ mm}$ |
| | počet | $n = 4$ |

2.1.9.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------|--------------|----------------------------|
| šroub | ocel | 6.8 |
| | mez kluzu | $f_{yb} = 480 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_{ub} = 600 \text{ MPa}$ |

| | | |
|--------|--------------|-------------------------|
| plechy | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$
 $\gamma_{m2} = 1,25$

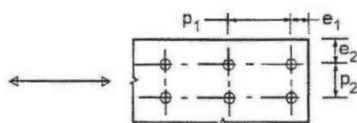
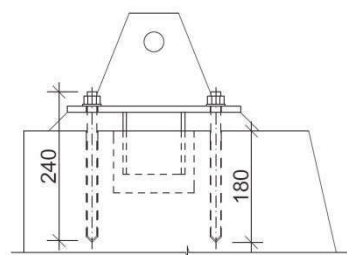
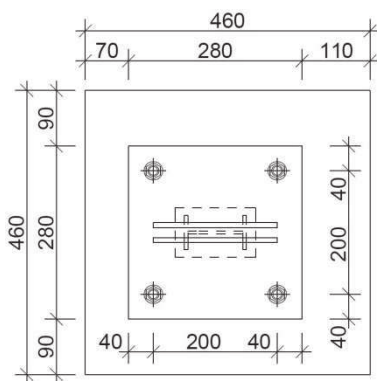
2.1.9.3 ROZTEČE V PATNÍM PLECHU

$$e_1 = e_2 = 1,2 \cdot d_o = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2,2 \cdot d_o = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2,4 \cdot d_o = 2,4 \cdot 18 = 43,2 \text{ mm}$$

$$\text{volím} \quad e_1 = e_2 = 40 \text{ mm} \quad p_1 = p_2 = 200 \text{ mm}$$



2.1.9.4 ÚNOSNOST V TAHU

$$F_{t,Rd}' = \frac{k_2 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 157 \cdot 600}{1,25} = 67,824 \text{ KN}$$

$$F_{t,Rd} = n \cdot F_{t,Rd}' = 4 \cdot 67,824 = 271,296 \text{ KN}$$

$$F_{t,Ed} = |\min R_z| = 44,774 \text{ KN}$$

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$$

$$44,774 < 271,296$$

VYHOVÍ (využití 17 %)

2.1.9.5 ÚNOSNOST V PROTLAČENÍ

$$B_{p,Rd}' = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 25,9 \cdot 3 \cdot 360}{1,25} = 42,181 \text{ KN}$$

$$B_{p,Rd} = n \cdot B_{p,Rd}' = 4 \cdot 42,181 = 168,724 \text{ KN}$$

$$B_{p,Ed} = |\min R_z| = 44,774 \text{ KN}$$

$$B_{p,Ed} \leq B_{p,Rd}$$

$$44,774 < 168,724$$

VYHOVÍ (využití 27 %)

2.1.9.6 ÚNOSNOST V SOUDRŽNOSTI

pozn. posouzení bylo provedeno pomocí softwaru HILTI PROFIS ANCHOR

>> rozhodující je porušení vytržením betonového kuželu

garantovaná únosnost skupiny kotev $N_{Rd,c} = 84,979 \text{ KN}$
viz 4.2

pozn. v posudku není zahrnut vliv otvoru pro smykovou zarážku

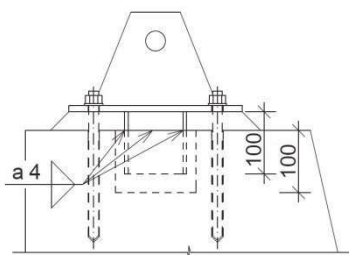
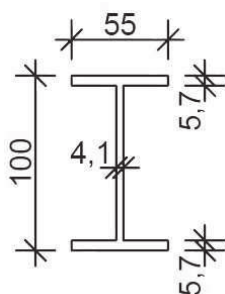
>> toto je vykompenzováno 47 % rezervou únosnosti

$$N_{Sd} = |\min R_z| = 44,774 \text{ KN}$$

$$N_{Sd} \leq N_{Rd,c}$$

$$44,774 < 84,979$$

VYHOVÍ (využití 53 %)



2.1.10 SMYKOVÁ ZARÁŽKA

2.1.10.1 GEOMETRIE

| | | |
|---------|------------------|------------------------|
| IPE 100 | šířka profilu | $b = 55 \text{ mm}$ |
| | výška profilu | $h = 100 \text{ mm}$ |
| | tloušťka pásnice | $t_f = 5,7 \text{ mm}$ |
| | tloušťka stojiny | $t_w = 4,1 \text{ mm}$ |

2.1.10.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|---------|--------------|-------------------------|
| IPE 100 | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |

| | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ |
| | $\gamma_{m2} = 1,25$ |

| | |
|---------------------|-----------------|
| součinitel korelace | $\beta_w = 0,8$ |
|---------------------|-----------------|

| | | |
|-------|-----------------|---------------------------|
| beton | beton | C25/30 |
| | pevnost v tlaku | $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ |

| | |
|-------------------------------------|---------------------|
| součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_{mc} = 1,5$ |
|-------------------------------------|---------------------|

2.1.10.3 NÁVRH VÝŠKY

$$V_{sd,z} = \max |R_x| = 45,461 \text{ KN}$$

$$l_{min} = \frac{V_{sd,z}}{b \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{mc}}} + t_{pod} = \frac{45,461 \cdot 10^3}{55 \cdot \frac{25}{1,5}} + 30 = 79,6 \text{ mm}$$

$$\text{volím } l = 100 \text{ mm}$$

2.1.10.4 SVARY

$$\text{účinná výška svaru } a = 3 \text{ mm}$$

$$\text{počet svarů } n = 2$$

$$\begin{aligned} \text{účinná délka svaru stojiny } l_{eff,1} &= h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot a \\ l_{eff,1} &= 100 - 2 \cdot 5,7 - 2 \cdot 3 = 82,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{účinná délka svarů pásnic } l_{eff,2} &= b - t_w = 55 - 4,1 = 50,9 \text{ mm} \\ l_{eff,3} &= b = 55 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{účinná plocha svaru stojiny } A_{w,z} = n \cdot a \cdot l_{eff,1} = 496 \text{ mm}^2$$

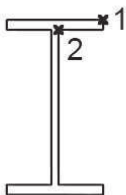
$$\text{účinná plocha svaru pásnice } A_{w,y} = n \cdot a \cdot (l_{eff,2} + l_{eff,3}) = 635 \text{ mm}^2$$

$$\text{účinná plocha svarů } A_w = A_{w,z} + A_{w,y} = 1131 \text{ mm}^2$$

$$V_{sd,y} = \text{odp } |R_y| = 3,336 \text{ KN}$$

$$M_{sd,y} = V_{sd,z} \cdot \left(\frac{l - t_{pod}}{2} + t_{pod} \right) = 45,461 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{100 - 30}{2} + 30 \right)$$

$$M_{sd,y} = 2,955 \text{ KNm}$$



$$M_{sd,z} = V_{sd,y} \cdot \left(\frac{l - t_{pod}}{2} + t_{pod} \right) = 3,336 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{100 - 30}{2} + 30 \right)$$

$$M_{sd,z} = 0,217 \text{ KNm}$$

$$z_{y,1} = \frac{b}{2} = \frac{55}{2} = 27,5 \text{ mm}$$

$$z_{y,2} = \frac{t_w}{2} = \frac{4,1}{2} = 2,05 \text{ mm}$$

$$z_{z,1} = \frac{h}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ mm}$$

$$z_{z,2} = z_{z,1} - t_f = 50 - 5,7 = 44,3 \text{ mm}$$

$$I_{w,y} = n \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot a \cdot l_{eff,1}^3 + \frac{1}{12} \cdot l_{eff,2} \cdot a^3 + l_{eff,2} \cdot a \cdot z_{z,2}^2 + \frac{1}{12} \cdot l_{eff,3} \cdot a^3 + l_{eff,3} \cdot a \cdot z_{z,1}^2 \right)$$

$$I_{w,y} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 82,6^3 + \frac{1}{12} \cdot 50,9 \cdot 3^3 + 50,9 \cdot 3 \cdot 44,3^2 + \frac{1}{12} \cdot 55 \cdot 3^3 + 55 \cdot 3 \cdot 50^2 \right)$$

$$I_{w,y} = 1,71 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{w,z} = n \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot l_{eff,1} \cdot a^3 + l_{eff,1} \cdot a \cdot z_{y,2}^2 + \frac{1}{12} \cdot a \cdot l_{eff,2}^3 + \frac{1}{12} \cdot a \cdot l_{eff,3}^3 \right)$$

$$I_{w,z} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 82,6 \cdot 3^3 + 82,6 \cdot 3 \cdot 2,05^2 + \frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 50,9^3 + \frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 55^3 \right)$$

$$I_{w,z} = 1,52 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

BOD 1

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{sd,y}}{A_{w,y}} = \frac{3,336 \cdot 10^3}{635} = 5,25 \text{ MPa}$$

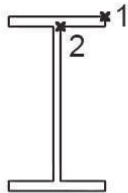
$$\sigma_{\perp,1} = \tau_{\perp,1} = \frac{M_{sd,y} \cdot z_{z,1}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,y}} = \frac{2,955 \cdot 10^6 \cdot 50}{\sqrt{2} \cdot 1,71 \cdot 10^6} = 61,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,2} = \tau_{\perp,2} = \frac{M_{sd,z} \cdot z_{y,1}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,z}} = \frac{0,217 \cdot 10^6 \cdot 27,5}{\sqrt{2} \cdot 1,52 \cdot 10^5} = 27,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 61,1 + 27,8 = 88,9 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$



POSOUZENÍ

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{88,9^2 + 3 \cdot 88,9^2 + 3 \cdot 5,25^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$178 < 360$$

VYHOVÍ (využití 49 %)

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25}$$

$$88,9 < 259$$

VYHOVÍ (využití 34 %)

BOD 2

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{sd,z}}{A_{w,z}} = \frac{45,461 \cdot 10^3}{496} = 91,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,1} = \tau_{\perp,1} = \frac{M_{sd,y} \cdot z_{z,2}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,y}} = \frac{2,955 \cdot 10^6 \cdot 44,3}{\sqrt{2} \cdot 1,71 \cdot 10^6} = 54,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,2} = \tau_{\perp,2} = \frac{M_{sd,z} \cdot z_{y,2}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,z}} = \frac{0,217 \cdot 10^6 \cdot 2,05}{\sqrt{2} \cdot 1,52 \cdot 10^5} = 2,07 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 54,1 + 2,07 = 56,2 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{56,2^2 + 3 \cdot 56,2^2 + 3 \cdot 91,7^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$195 < 360$$

VYHOVÍ (využití 54 %)

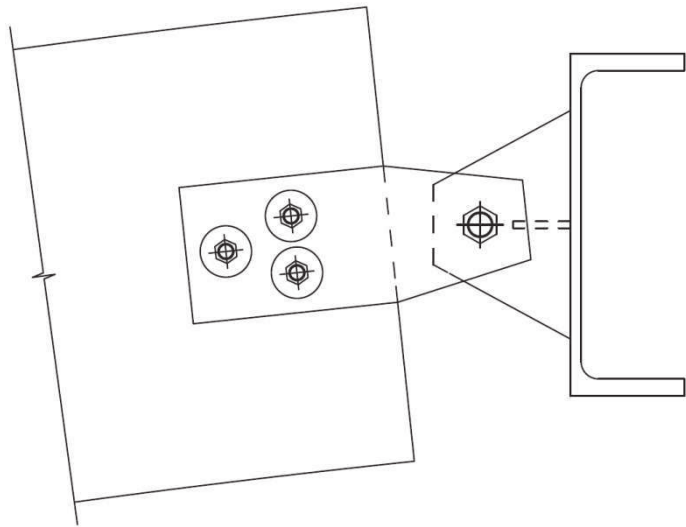
$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25}$$

$$56,2 < 259$$

VYHOVÍ (využití 22 %)

2.2 ULOŽENÍ ŽEBRA KOPULE NA PRSTENEC

spoj je tvořen dvojicí plechů osazených na žebro kopule a zajištěných svorníky a dvojicí plechů osazených na prstenec, plechy budou vzájemně spojeny svorníkem



2.2.1 VNITŘNÍ SÍLY

| | | |
|----------------------------|------|-------------------------------|
| maximální tlak | | $N_d = -29,707 \text{ KN}$ |
| (žebro A04, KV10) | odp. | $V_{y,d} = 4,025 \text{ KN}$ |
| | odp. | $V_{z,d} = 5,874 \text{ KN}$ |
| maximální tah | | $N_d = 33,404 \text{ KN}$ |
| maximální posouvající síla | odp. | $V_{y,d} = 4,910 \text{ KN}$ |
| (žebro A05, KV25) | odp. | $V_{z,d} = -6,604 \text{ KN}$ |

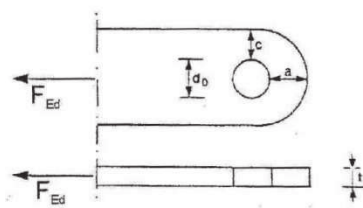
2.2.2 ČEPOVÝ SPOJ

2.2.2.1 GEOMETRIE

| | | |
|-----------|---------------------|------------------------|
| čep | průměr | $d = 20 \text{ mm}$ |
| (svorník) | průměr otvoru | $d_0 = 22 \text{ mm}$ |
| | plocha jádra šroubu | $A = 314 \text{ mm}^2$ |

2.2.2.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| plechy | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |
| čep | ocel | 4.8 |
| (svorník) | mez kluzu | $f_{yp} = 320 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_{up} = 400 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ | |
| | $\gamma_{m2} = 1,25$ | |



2.2.2.3 NÁVRH PLECHU

pozn. posouzení konců plechu je vztaženo k maximální tahové síle
maximální tahová síla bude přenášena dvojicí plechů

$$F_{Ed} = \frac{\sqrt{N_d^2 + V_{z,d}^2}}{2} = \frac{\sqrt{33,404^2 + (-6,604)^2}}{2} = 17,025 \text{ KN}$$

$$t \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{17,025 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{235}} = 5,96 \text{ mm}$$

volím $t = 8 \text{ mm}$

$$d_0 \leq 2,5 \cdot t = 2,5 \cdot 8 = 20 \text{ mm}$$

$$22 \text{ mm} > 20 \text{ mm}$$

NEVYHOVÍ

pozn. rozhodující je návrh geometrie při dané tloušťce

$$a \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{17,025 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 8 \cdot 235} + \frac{2 \cdot 22}{3} = 19,2 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{17,025 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 8 \cdot 235} + \frac{22}{3} = 11,9 \text{ mm}$$

volím $t_l = 8 \text{ mm}$ $t_p = 8 \text{ mm}$ $a = c = 30 \text{ mm}$

2.2.2.4 ÚNOSNOST VE STŘIHU

pozn. posouzení čepu je vztaženo k celkové maximální síle
maximální síla bude přenášena dvojicí plechů

počet stříhových rovin $n_s = 2$

$$F_{v,Rd} = n_s \cdot \frac{0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 314 \cdot 400}{1,25} = 120,576 \text{ KN}$$

$$F_{Ed} = F_{v,Ed} = F_{b,Ed} = \frac{\sqrt{N_d^2 + V_{z,d}^2}}{2} = \frac{\sqrt{33,404^2 + (-6,604)^2}}{2}$$

$$F_{Ed} = F_{v,Ed} = F_{b,Ed} = 17,025 \text{ KN}$$

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

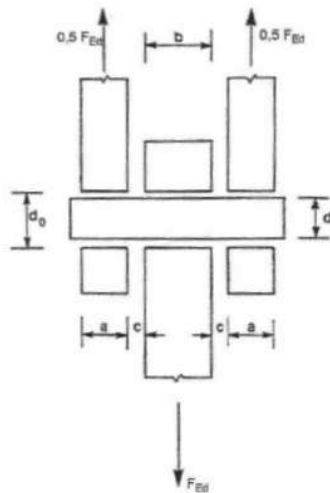
$$17,025 < 120,576$$

VYHOVÍ (využití 14 %)

2.2.2.5 ÚNOSNOST PLECHU A ČEPU V OTLAČENÍ

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 8 \cdot 20 \cdot 235}{1,00} = 56,400 \text{ KN}$$

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$$



$$a = t_1 = 8 \text{ mm}$$

$$b = t_p = 8 \text{ mm}$$

$$c = 2 \text{ mm}$$

$$17,025 < 56,400$$

VYHOVÍ (využití 30 %)

2.2.2.6 ÚNOSNOST ČEPU V OHYBU

pozn. vzhledem k jiné geometrii nutná úprava normového vzorce

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{4} \cdot (b + 4 \cdot c + 2 \cdot a) = \frac{17,025 \cdot 10^3}{4} \cdot (8 + 4 \cdot 2 + 2 \cdot 8)$$

$$M_{Ed} = 0,136 \text{ KNm}$$

$$I_y = \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot d^4 = \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot 20^4 = 7,85 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$W_y = W_{el} = \frac{I_y}{(d/2)} = \frac{7,85 \cdot 10^3}{(20/2)} = 7,85 \cdot 10^2 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 7,85 \cdot 10^2 \cdot 320}{1,00} = 0,377 \text{ KNm}$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$0,136 < 0,377$$

VYHOVÍ (využití 36 %)

2.2.2.7 ÚNOSNOST ČEPU PŘI KOMBINACI STŘIHU A OHYBU

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1$$

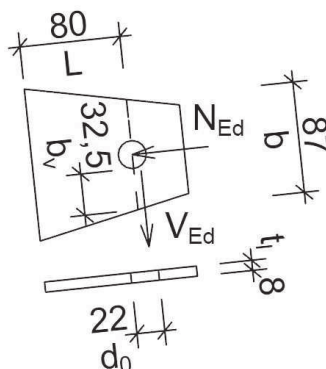
$$\left[\frac{0,136}{0,377} \right]^2 + \left[\frac{17,025}{120,576} \right]^2 \leq 1$$

$$0,155 < 1$$

VYHOVÍ (využití 15 %)

2.2.3 LEVÉ PLECHY

2.2.3.1 GEOMETRIE



tloušťka $t_l = 8 \text{ mm}$

šířka v místě otvoru $b = 87 \text{ mm}$

oslabená šířka $b_{net} = b - d_0 = 65 \text{ mm}$

šířka účinná ve smyku $b_v = b_{net} / 2 = 32,5 \text{ mm}$

plocha $A = b \cdot t_l = 696 \text{ mm}^2$

oslabená plocha $A_{net} = b_{net} \cdot t_l = 520 \text{ mm}^2$

smyková plocha $A_v = b_v \cdot t_l = 260 \text{ mm}^2$

poloměr setrvačnosti $i = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot t_l^2} = 2,31 \text{ mm}$

délka $L = 80 \text{ mm}$

konzola $\beta = 2,0$

kritická délka $L_{cr} = L \cdot \beta = 80 \cdot 2,0 = 160 \text{ mm}$

2.2.3.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| plechy | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ | |
| | $\gamma_{m2} = 1,25$ | |

2.2.3.3 TAH

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 520 \cdot 360}{1,25} = 134,784 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} = \max N_d / 2 = 16,702 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{u,Rd}$$

$$16,702 < 134,784$$

VYHOVÍ (využití 12 %)

2.2.3.4 VZPĚR

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{160}{2,31} = 69,3$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{69,3}{93,9} = 0,738$$

$$\text{křivka vzpěrné pevnosti "c"} \gg \alpha = 0,49$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (0,738 - 0,2) + 0,738^2) = 0,904$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,904 + \sqrt{0,904^2 - 0,738^2}} = 0,701$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,701 \cdot 696 \cdot 235}{1,0} = 114,656 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} = |\min N_d| / 2 = 14,854 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

$$14,854 < 114,656$$

VYHOVÍ (využití 13 %)

2.2.3.5 SMYK

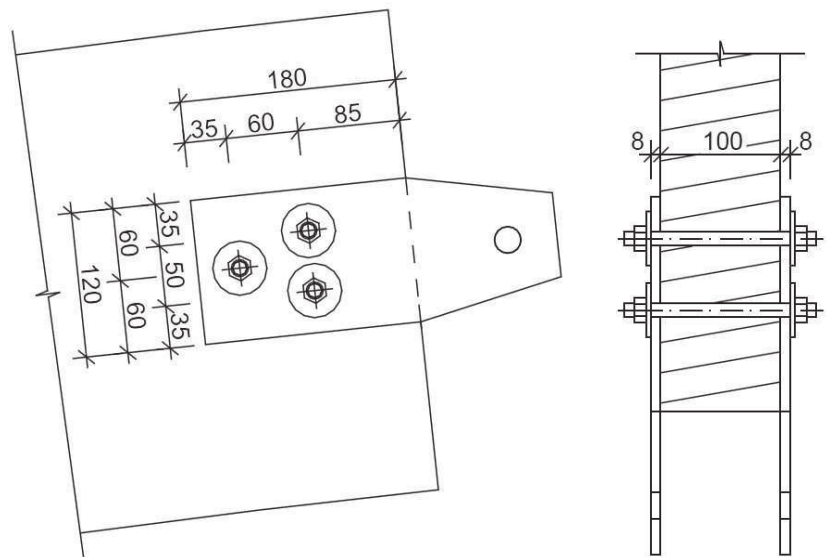
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{260 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 35,276 \text{ KN}$$

$$V_{Ed} = \frac{\max |V_{z,d}|}{2} = 3,302 \text{ KN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$3,302 < 35,276$$

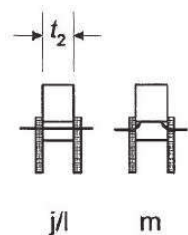
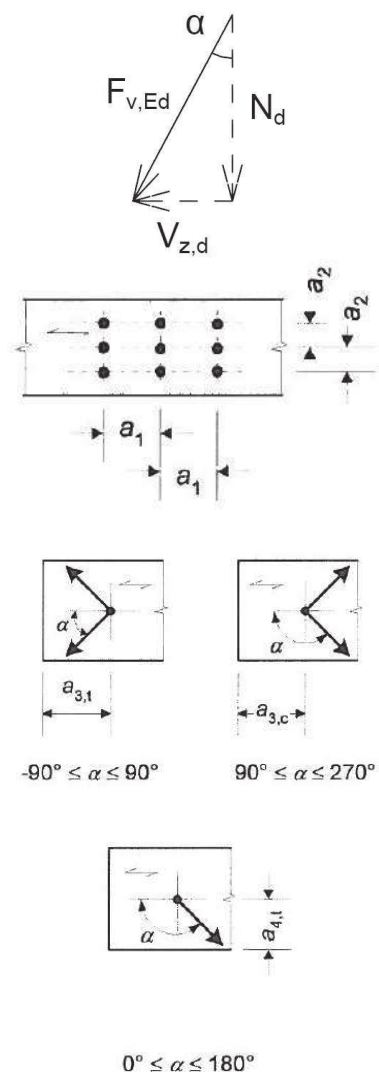
VYHOVÍ (využití 9 %)

2.2.4 PLECHY OSAZENÉ NA ŽEBRO**2.2.4.1 GEOMETRIE**

| | | |
|---------|----------|----------------------------|
| LLD | tloušťka | $b = t_2 = 100 \text{ mm}$ |
| plech | tloušťka | $t_l = 8 \text{ mm}$ |
| svorník | průměr | $d = 12 \text{ mm}$ |
| | počet | $n = 3$ |

2.2.4.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|---------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| LLD | dřevo | GL24h |
| | třída provozu | 2 |
| | třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| | hodnota k_{mod} | $k_{mod} = 0,90$ |
| | hustota | $\rho = 380 \text{ kg/m}^3$ |
| | součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_m = 1,3 \text{ (pro spoje)}$ |
| svorník | ocel | 4.8 |
| | mez kluzu | $f_{y,k} = 320 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_{u,k} = 400 \text{ MPa}$ |



součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$
 $\gamma_{m2} = 1,25$

2.2.4.3 PEVNOST V OTLAČENÍ DŘEVA

$$F_{v,Ed} = \sqrt{N_d^2 + V_{z,d}^2} \quad \alpha = \tan^{-1} \cdot \frac{V_{z,d}}{N_d}$$

$$a_1 = (4 + |\cos \alpha|) \cdot d$$

$$a_2 = 4 \cdot d$$

$$a_{3,t} = \max (7 \cdot d ; 80 \text{ mm})$$

$$a_{3,c} = 4 \cdot d$$

$$a_{4,t} = \max [(2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d ; 3 \cdot d]$$

$$a_{4,c} = 3 \cdot d$$

| | | maximální tlak | maximální tah a posouvající síla |
|------------|----|----------------|-------------------------------------|
| $F_{v,Ed}$ | KN | 30,282 | 34,051 |
| α | ° | 11,2 | 11,2 |
| a_1 | mm | 59,8 | |
| a_2 | mm | 48,0 | |
| $a_{3,t}$ | mm | 84,0 | |
| $a_{3,c}$ | mm | 48,0 | |
| $a_{4,t}$ | mm | 36,0 | |
| $a_{4,c}$ | mm | 36,0 | |

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 12^{2,6} = 76\,745 \text{ Nmm}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 380$$

$$f_{h,0,k} = 27,421 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 12 = 1,53$$

$$f_{h,2,k} = f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

počet stříhových rovin $n_s = 2$

celkový počet svorníků $n = 3$

$$t_l > 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 12 = 6 \text{ mm}$$

$$8 \text{ mm} > 6 \text{ mm} \gg \text{tlustá deska}$$

pevnost tlusté ocelové desky jako vnějšího prvku dvojstřížného spoje

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d}{2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \right\}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_m}$$

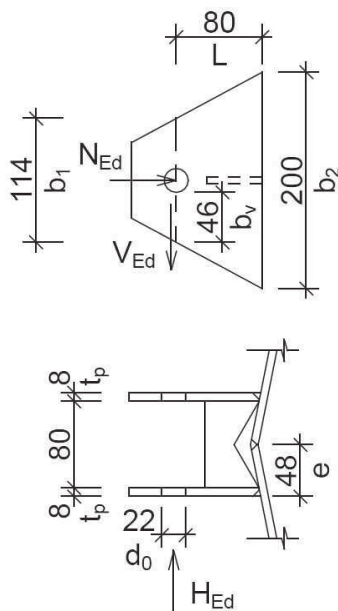
$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd}' \cdot n_s \cdot n$$

$$F_{v,ed} \leq F_{v,Rd}$$

| | | maximální tlak | maximální tah a posouvající síla |
|-------------|-----|----------------|-------------------------------------|
| $f_{h,2,k}$ | MPa | 26,883 | |
| $F_{v,Rk}'$ | (l) | 16,130 | |
| | (m) | 11,444 | |
| $F_{v,Rd}'$ | KN | 7,923 | |
| $F_{v,Rd}$ | KN | 47,538 | |
| $F_{v,ed}$ | KN | 30,282 | 34,051 |
| využití | | 64 % | 72 % |
| | | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

2.2.5 PRAVÉ PLECHY

2.2.5.1 GEOMETRIE



| | |
|----------------------------|---|
| tloušťka | $t_p = 8 \text{ mm}$ |
| šířka v místě otvoru | $b_1 = 114 \text{ mm}$ |
| šířka v patě | $b_2 = 200 \text{ mm}$ |
| oslabená šířka | $b_{net} = b_1 - d_0 = 92 \text{ mm}$ |
| šířka účinná ve smyku | $b_v = b_{net} / 2 = 46 \text{ mm}$ |
| vzdálenost krajních vláken | $e = 48 \text{ mm}$ |
| vzdálenost těžišť | $e_1 = 44 \text{ mm}$ |
| plocha | $A = b_1 \cdot t_p = 912 \text{ mm}^2$ |
| oslabená plocha | $A_{net} = b_{net} \cdot t_p = 736 \text{ mm}^2$ |
| smyková plocha | $A_v = b_v \cdot t_p = 368 \text{ mm}^2$ |
| moment setrvačnosti | $I_z = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot b_2 \cdot t_p^3 + b_2 \cdot t_p \cdot e_1^2 \right)$ $I_z = 6,21 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$ |
| modul průřezu | $W_z = I_z / e = 1,29 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ |
| poloměr setrvačnosti | $i = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot t_d^2} = 2,31 \text{ mm}$ |
| délka | $L = 80 \text{ mm}$ |
| konzola | $\beta = 2,0$ |
| kritická délka | $L_{cr} = L \cdot \beta = 80 \cdot 2,0 = 160 \text{ mm}$ |

2.2.5.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|--------|--------------|-------------------------|
| plechy | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$
 $\gamma_{m2} = 1,25$
 součinitel korelace $\beta_w = 0,8$

2.2.5.3 TAH

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 736 \cdot 360}{1,25} = 190,771 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} = \max N_d / 2 = 16,702 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{u,Rd}$$

$$16,702 < 190,771$$

VYHOVÍ (využití 9 %)

2.2.5.4 VZPĚŘ

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{160}{2,31} = 69,3$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{69,3}{93,9} = 0,738$$

křivka vzpěrné pevnosti "c" $\gg \alpha = 0,49$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (0,738 - 0,2) + 0,738^2) = 0,904$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,904 + \sqrt{0,904^2 - 0,738^2}} = 0,701$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,701 \cdot 912 \cdot 235}{1,0} = 150,238 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} = |\min N_d| / 2 = 14,854 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

$$14,854 < 150,238$$

VYHOVÍ (využití 10 %)

2.2.5.5 SMYK

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{368 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 49,929 \text{ KN}$$

$$V_{Ed} = \max |V_{z,d}| / 2 = 3,302 \text{ KN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$3,302 < 49,929$$

VYHOVÍ (využití 7 %)

2.2.5.6 OHYB

$$M_{c,Rd} = \frac{W_z \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,29 \cdot 10^5 \cdot 235}{1,0} = 30,315 \text{ KNm}$$

$$H_{Ed} = \max |V_{y,d}| = 4,910 \text{ KN}$$

$$M_{Ed} = H_{Ed} \cdot L = 4,910 \cdot 10^3 \cdot 80 = 0,393 \text{ KNm}$$

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$0,393 \leq 30,315$$

VYHOVÍ (využití 1 %)

2.2.5.7 SVARY

$$\text{nominální výška svaru} \quad a_{nom} = 5 \text{ mm}$$

$$\text{účinná výška svaru} \quad a = a_{nom} - 2 = 3 \text{ mm}$$

$$\text{počet svarů} \quad n = 2$$

$$\text{účinná délka svaru} \quad l_{eff} = b_2 - 2 \cdot a = 200 - 2 \cdot 3 = 194 \text{ mm}$$

$$\text{účinná plocha svaru} \quad A_w = n \cdot a \cdot l_{eff} = 1 \, 164 \text{ mm}^2$$

$$N_{sd} = |\max N_d| = 33,404 \text{ KN}$$

$$V_{sd,y} = \text{odp } |V_{y,d}| = 4,910 \text{ KN}$$

$$V_{sd,z} = \text{odp } |V_{z,d}| = 6,604 \text{ KN}$$

$$M_{sd,y} = V_{sd,z} \cdot L = 6,604 \cdot 10^3 \cdot 80 = 0,528 \text{ KNm}$$

$$M_{sd,z} = V_{sd,y} \cdot L = 4,910 \cdot 10^3 \cdot 80 = 0,393 \text{ KNm}$$

$$z_y = e - a_{nom} = 48 - 5 = 43 \text{ mm}$$

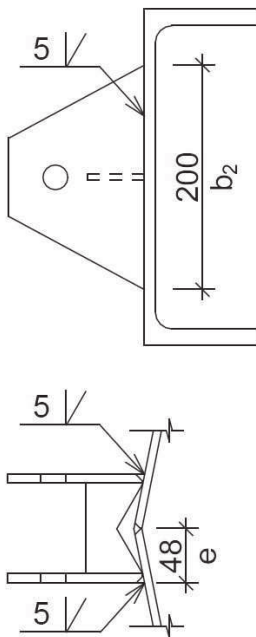
$$z_z = \frac{b_2}{2} = \frac{200}{2} = 100 \text{ mm}$$

$$I_{w,y} = n \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot a \cdot l_{eff}^3 \right)$$

$$I_{w,y} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 194^3 \right) = 3,65 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{w,z} = n \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot l_{eff} \cdot a^3 + l_{eff} \cdot a \cdot z_y^2 \right)$$

$$I_{w,z} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 194 \cdot 3^3 + 194 \cdot 3 \cdot 43^2 \right) = 2,15 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$



$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{sd,z}}{A_w} = \frac{6,604 \cdot 10^3}{1\,164} = 5,67 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,1} = \tau_{\perp,1} = \frac{(N_{sd} + V_{sd,y})}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{(33,404 \cdot 10^3 + 4,910 \cdot 10^3)}{\sqrt{2} \cdot 1\,164}$$

$$\sigma_{\perp,1} = \tau_{\perp,1} = 23,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,2} = \tau_{\perp,2} = \frac{M_{sd,y} \cdot z_z}{\sqrt{2} \cdot I_{w,y}} = \frac{0,528 \cdot 10^6 \cdot 100}{\sqrt{2} \cdot 3,65 \cdot 10^6} = 10,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,3} = \tau_{\perp,3} = \frac{M_{sd,z} \cdot z_y}{\sqrt{2} \cdot I_{w,z}} = \frac{0,393 \cdot 10^6 \cdot 43}{\sqrt{2} \cdot 2,15 \cdot 10^6} = 5,56 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 23,3 + 10,2 + 5,56 = 39,1 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{39,1^2 + 3 \cdot 39,1^2 + 3 \cdot 5,67^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$78,8 < 360$$

VYHOVÍ (využití 22 %)

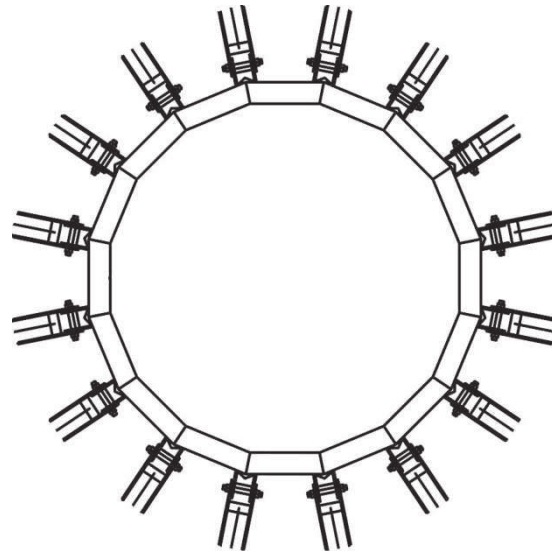
$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25}$$

$$39,1 < 259$$

VYHOVÍ (využití 15 %)

2.3 SPOJ PRSTENCE

spoj je tvořen tupým svarem s plným provařením mezi každými dvěma přímými pruty prstence, vytváří se tak polygonálně lomený tvar prstence



2.3.1 VNITŘNÍ SÍLY

maximální tah

(prstenec, KV29)

$$N_d = 12,610 \text{ KN}$$

odp. $V_{y,d} = 0,000 \text{ KN}$

odp. $V_{z,d} = 0,093 \text{ KN}$

odp. $M_{y,d} = -2,608 \text{ KNm}$

odp. $M_{z,d} = -15,339 \text{ KNm}$

maximální posouvající síla

(prstenec, KV31)

odp. $N_d = -1,563 \text{ KN}$

odp. $V_{y,d} = -30,640 \text{ KN}$

$$V_{z,d} = 6,683 \text{ KN}$$

odp. $M_{y,d} = -1,087 \text{ KNm}$

odp. $M_{z,d} = -5,618 \text{ KNm}$

maximální moment M_y

(prstenec, KV29)

odp. $N_d = -10,930 \text{ KN}$

odp. $V_{y,d} = 26,822 \text{ KN}$

odp. $V_{z,d} = -8,082 \text{ KN}$

$$M_{y,d} = 3,538 \text{ KNm}$$

odp. $M_{z,d} = 16,480 \text{ KNm}$

maximální moment M_z

(prstenec, KV29)

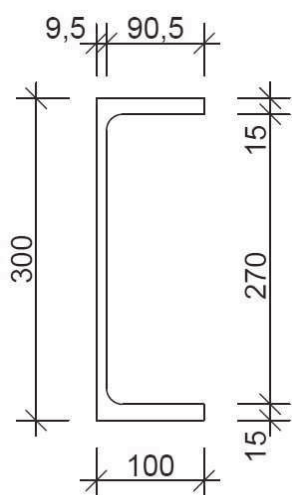
odp. $N_d = -9,846 \text{ KN}$

odp. $V_{y,d} = -8,973 \text{ KN}$

odp. $V_{z,d} = 1,325 \text{ KN}$

odp. $M_{y,d} = 2,584 \text{ KNm}$

$$M_{z,d} = 16,610 \text{ KNm}$$



2.3.2 SVARY

2.3.2.1 GEOMETRIE

| | | |
|---------|------------------|-------------------------|
| UPE 300 | šířka profilu | $b = 100 \text{ mm}$ |
| | výška profilu | $h = 300 \text{ mm}$ |
| | tloušťka pásnice | $t_f = 15,0 \text{ mm}$ |
| | tloušťka stojiny | $t_w = 9,5 \text{ mm}$ |

2.3.2.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|---------|--------------|-------------------------|
| UPE 300 | ocel | S355 |
| | mez kluzu | $f_y = 355 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 490 \text{ MPa}$ |

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{m2} = 1,25$

součinitel korelace $\beta_w = 0,9$

2.3.2.3 SVARY

účinná výška svaru stojiny $a_1 = t_w = 9,5 \text{ mm}$

účinná výška svaru pásnice $a_2 = t_f = 15,0 \text{ mm}$

účinná délka svaru stojiny $l_{eff,1} = h - 2 \cdot t_f = 300 - 2 \cdot 15$
 $l_{eff,1} = 270 \text{ mm}$

účinná délka svaru pásnice $l_{eff,2} = b - t_w = 100 - 9,5$
 $l_{eff,2} = 90,5 \text{ mm}$

účinná plocha svaru stojiny $A_{w,z} = a_1 \cdot l_{eff,1} = 2\,565 \text{ mm}^2$

účinná plocha svaru pásnice $A_{w,y} = 2 \cdot a_2 \cdot l_{eff,2} = 2\,715 \text{ mm}^2$

účinná plocha svarů $A_w = A_{w,z} + A_{w,y} = 5\,280 \text{ mm}^2$

$y_t = 28,9 \text{ mm}$

$z_{y,1} = y_t - t_w = 19,4 \text{ mm}$

$z_{y,2} = \left(\frac{b - t_w}{2}\right) - z_{y,1} = 25,9 \text{ mm}$

$z_{y,3} = b - y_t = 71,1 \text{ mm}$

$z_{z,1} = \frac{h}{2} - t_f = 135 \text{ mm}$

$I_{w,y} = \frac{1}{12} \cdot a_1 \cdot l_{eff,1}^3 + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot l_{eff,2} \cdot a_2^3 + l_{eff,2} \cdot a_2 \cdot z_{z,1}^2\right)$

$I_{w,y} = \frac{1}{12} \cdot 9,5 \cdot 270^3 + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 90,5 \cdot 15,0^3 + 90,5 \cdot 15,0 \cdot 135^2\right)$

$I_{w,y} = 6,51 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$

$I_{w,z} = \frac{1}{12} \cdot l_{eff,1} \cdot a_1^3 + l_{eff,1} \cdot a_1 \cdot z_{y,1}^2 + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot a_2 \cdot l_{eff,2}^3 + a_2 \cdot l_{eff,2} \cdot z_{y,2}^2\right)$

$$I_{w,z} = \frac{1}{12} \cdot 270 \cdot 9,5^3 + 270 \cdot 9,5 \cdot 19,4^2 + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 15,0 \cdot 90,5^3 + 15,0 \cdot 90,5 \cdot 25,9^2 \right)$$

$$I_{w,z} = 4,66 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

STOJINA

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{sd,z}}{A_{w,z}} \quad \sigma_{\perp,1} = \tau_{\perp,1} = \frac{N_{sd}}{\sqrt{2} \cdot A_w}$$

$$\sigma_{\perp,2} = \tau_{\perp,2} = \frac{M_{sd,y} \cdot z_{z,1}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,y}} \quad \sigma_{\perp,3} = \tau_{\perp,3} = \frac{M_{sd,z} \cdot z_{y,1}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,z}}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma_{\perp,1} + \sigma_{\perp,2} + \sigma_{\perp,3} \quad \tau_{\perp} = \tau_{\perp,1} + \tau_{\perp,2} + \tau_{\perp,3}$$

POSOUZENÍ

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 436 \text{ MPa} \quad (1)$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{490}{1,25} = 353 \text{ MPa} \quad (2)$$

| | | | max $N_{t,d}$ | max V_d | max $M_{y,d}$ | max $M_{z,d}$ |
|--------------------|------------------|-------|---------------|-----------|---------------|---------------|
| τ_{\parallel} | MPa | | 0,036 | 2,61 | 3,15 | 0,517 |
| $\sigma_{\perp,1}$ | $\tau_{\perp,1}$ | MPa | 1,69 | 0 | 0 | 0 |
| $\sigma_{\perp,2}$ | $\tau_{\perp,2}$ | MPa | 3,82 | 1,59 | 5,19 | 3,79 |
| $\sigma_{\perp,3}$ | $\tau_{\perp,3}$ | MPa | 45,2 | 16,5 | 48,5 | 48,9 |
| σ_{\perp} | τ_{\perp} | MPa | 50,7 | 18,1 | 53,7 | 52,7 |
| (1) | MPa | | 101 | 36,5 | 108 | 105 |
| využití | | | 23 % | 8 % | 25 % | 24 % |
| (2) | MPa | | 50,7 | 18,1 | 53,7 | 52,7 |
| využití | | | 14 % | 5 % | 15 % | 15 % |
| | | | VYHOVÍ | VYHOVÍ | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

PÁSNICE

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{sd,y}}{A_{w,y}} \quad \sigma_{\perp,1} = \tau_{\perp,1} = \frac{N_{sd}}{\sqrt{2} \cdot A_w}$$

$$\sigma_{\perp,2} = \tau_{\perp,2} = \frac{M_{sd,y} \cdot z_{z,1}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,y}} \quad \sigma_{\perp,3} = \tau_{\perp,3} = \frac{M_{sd,z} \cdot z_{y,3}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,z}}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma_{\perp,1} + \sigma_{\perp,2} + \sigma_{\perp,3} \quad \tau_{\perp} = \tau_{\perp,1} + \tau_{\perp,2} + \tau_{\perp,3}$$

POSOUZENÍ

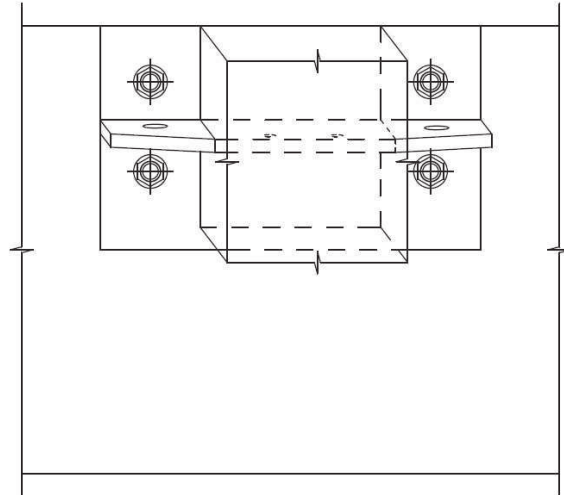
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 436 \text{ MPa} \quad (1)$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{490}{1,25} = 353 \text{ MPa} \quad (2)$$

| | | | max N _{t,d} | max V _d | max M _{y,d} | max M _{z,d} |
|--------------------|------------------|-----|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| τ_{\parallel} | MPa | | 0 | 11,3 | 9,88 | 3,30 |
| $\sigma_{\perp,1}$ | $\tau_{\perp,1}$ | MPa | 1,69 | 0 | 0 | 0 |
| $\sigma_{\perp,2}$ | $\tau_{\perp,2}$ | MPa | 3,82 | 1,59 | 5,19 | 3,79 |
| $\sigma_{\perp,3}$ | $\tau_{\perp,3}$ | MPa | 165 | 60,6 | 178 | 179 |
| σ_{\perp} | τ_{\perp} | MPa | 171 | 62,2 | 183 | 183 |
| (1) | MPa | | 342 | 126 | 366 | 366 |
| využití | | | 78 % | 29 % | 84 % | 84 % |
| (2) | MPa | | 171 | 62,2 | 183 | 183 |
| využití | | | 48 % | 18 % | 52 % | 52 % |
| | | | VYHOVÍ | VYHOVÍ | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

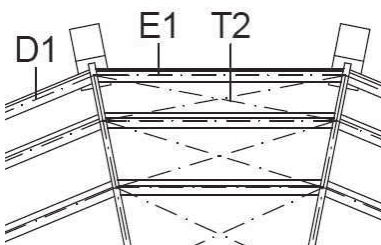
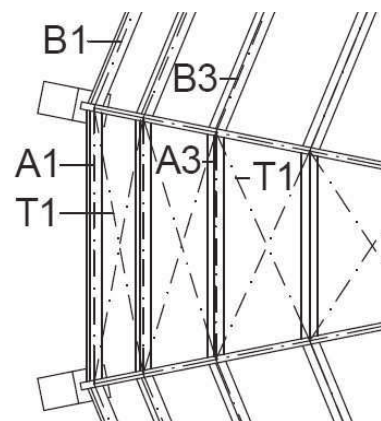
2.4 ULOŽENÍ VAZNICE KOPULE SE ZTUŽIDLY NA ŽEBRO

spoj je tvořen plechem vsazeným do vaznice a zajištěným svorníky a na který jsou pomocí čepových spojů připevněna příčná ztužidla, plech je osazen na styčnickový plech připevněný na žebro pomocí svorníků



2.4.1 VNITŘNÍ SÍLY

pozn. v závorce jsou uvedeny stabilizující síly



| | | | |
|--|------------|------|---|
| maximální tah ve vaznici ve ztužidlovém poli (KV25) | vaznice A1 | odp. | $N_{d,1} = 27,270 \text{ KN}$ $V_{y,d,1} = 3,793 \text{ KN}$ $V_{z,d,1} = 4,394 \text{ KN}$ |
| | vaznice B1 | odp. | $N_{d,2} = 28,330 \text{ KN}$ $V_{y,d,2} = -3,793 \text{ KN}$ $V_{z,d,2} = -3,933 \text{ KN}$ |
| | táhlo T1 | odp. | $F_d = 0,539 (0,851) \text{ KN}$ $\alpha_{zt} = 28,1^\circ$ $N_{d,zt} = 1,226 \text{ KN}$ $V_{y,d,zt} = 0,655 \text{ KN}$ |
| maximální tah ve ztužidle + ve vaznici (KV25) | vaznice E1 | odp. | $N_{d,1} = -21,973 \text{ KN}$ $V_{y,d,1} = -3,793 \text{ KN}$ $V_{z,d,1} = 3,840 \text{ KN}$ |
| | vaznice D1 | odp. | $N_{d,2} = 32,806 \text{ KN}$ $V_{y,d,2} = 3,793 \text{ KN}$ $V_{z,d,2} = -2,135 \text{ KN}$ |
| | táhlo T2 | odp. | $F_d = 70,026 (0,351) \text{ KN}$ $\alpha_{zt} = 28,1^\circ$ $N_{d,zt} = 62,081 \text{ KN}$ $V_{y,d,zt} = 33,148 \text{ KN}$ |

| | | | |
|---|------------|------|----------------------------------|
| maximální posouvající síla (KV13) | vaznice A3 | odp. | $N_{d,1} = -5,760 \text{ KN}$ |
| | | odp. | $V_{y,d,1} = 8,418 \text{ KN}$ |
| | | | $V_{z,d,1} = 7,959 \text{ KN}$ |
| | vaznice B3 | odp. | $N_{d,2} = -5,762 \text{ KN}$ |
| | | odp. | $V_{y,d,2} = -8,041 \text{ KN}$ |
| | | odp. | $V_{z,d,2} = -7,374 \text{ KN}$ |
| | táhlo T1 | odp. | $F_d = 0,025 (1,092) \text{ KN}$ |
| | | | $\alpha_{zt} = 30,5^\circ$ |
| | | | $N_{d,zt} = 0,962 \text{ KN}$ |
| | | | $V_{y,d,zt} = 0,567 \text{ KN}$ |

2.4.2 IDEALIZACE KONSTRUKCE

vlivem tvaru kopule nejde o zcela kolmý přípoj vaznic a táhel na žebro, pro určení složek sil působících kolmo a rovnoběžně k žebro je nutná vektorová transformace vnitřních sil od vaznic a táhel

>> posudek vztažen na vaznice A1 a B1 pro maximální tah ve vaznici

odklon čel vaznic od podélné osy žebra $\alpha_{\parallel,A1,B1} = 3,0^\circ$

odklon čel vaznic kolmo k podélné ose žebra $\alpha_{\perp,A1,B1} = 10,8^\circ$

jde o prostorovou úlohu, pro zjednodušení zanedbávám pro svou malou hodnotu odklon od podélné osy žebra a převádím na rovinnou úlohu

2.4.2.1 SKUTEČNÉ VNITŘNÍ SÍLY

odklon čela vaznice

$$\alpha_{A1,B1} = \sqrt{\alpha_{\parallel,A1,B1}^2 + \alpha_{\perp,A1,B1}^2} = \sqrt{3,0^2 + 10,8^2} = 11,25^\circ$$

odklon ztužidla

$$\alpha_{T1} = 28,1 + 11,25 = 39,35^\circ$$

transformace složek vaznice A1

$$N_{d,A1} = 27,270 \text{ KN}$$

$$N_{n,A1} = N_{d,A1} \cdot \cos(\alpha_{A1,B1}) = 27,270 \cdot \cos(11,25) = 26,746 \text{ KN}$$

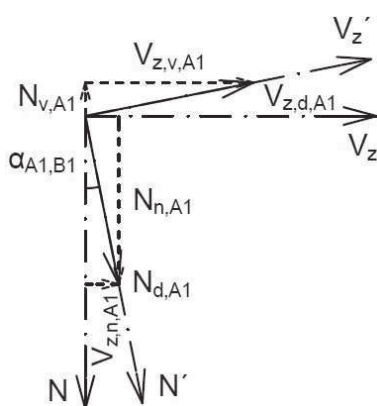
$$V_{z,n,A1} = N_{d,A1} \cdot \sin(\alpha_{A1,B1}) = 27,270 \cdot \sin(11,25) = 5,320 \text{ KN}$$

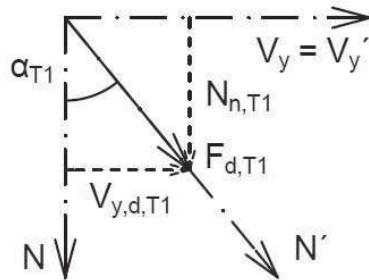
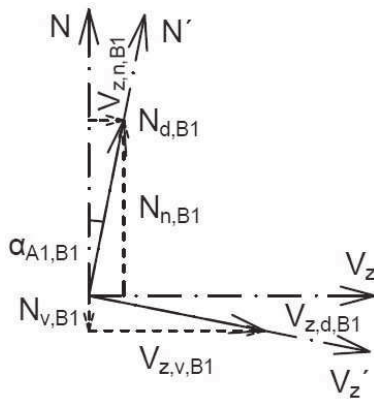
$$V_{z,d,A1} = 4,394 \text{ KN}$$

$$N_{v,A1} = V_{z,d,A1} \cdot \sin(\alpha_{A1,B1}) = 4,394 \cdot \sin(11,25) = 0,857 \text{ KN}$$

$$V_{z,v,A1} = V_{z,d,A1} \cdot \cos(\alpha_{A1,B1}) = 4,394 \cdot \cos(11,25) = 4,310 \text{ KN}$$

$$V_{y,d,A1} = 3,793 \text{ KN}$$



transformace složek vaznice B1

$$N_{d,B1} = 28,330 \text{ KN}$$

$$N_{n,B1} = N_{d,B1} \cdot \cos(\alpha_{A1,B1}) = 28,330 \cdot \cos(11,25) = 27,786 \text{ KN}$$

$$V_{z,n,B1} = N_{d,B1} \cdot \sin(\alpha_{A1,B1}) = 28,330 \cdot \sin(11,25) = 5,527 \text{ KN}$$

$$V_{z,d,B1} = -3,933 \text{ KN}$$

$$N_{v,B1} = V_{z,d,B1} \cdot \sin(\alpha_{A1,B1}) = (-3,933) \cdot \sin(11,25) = -0,767 \text{ KN}$$

$$V_{z,v,B1} = V_{z,d,B1} \cdot \cos(\alpha_{A1,B1}) = (-3,933) \cdot \cos(11,25) = -3,857 \text{ KN}$$

$$V_{y,d,B1} = -3,793 \text{ KN}$$

transformace složek táhla T1

$$F_{d,T1} = 1,390 \text{ KN}$$

$$N_{n,T1} = F_{d,T1} \cdot \cos(\alpha_{T1}) = 1,390 \cdot \cos(39,35) = 1,075 \text{ KN}$$

$$N_{d,T1} = 1,226 \text{ KN}$$

$$V_{y,d,T1} = 0,655 \text{ KN}$$

výsledné vnitřní síly

$$N = N_{n,A1} - |N_{v,A1}| + N_{n,B1} - |N_{v,B1}| + N_{n,T1}$$

$$N = 26,746 - |0,857| + 27,786 - |-0,767| + 1,075 = 53,983 \text{ KN}$$

$$V_z = V_{z,n,A1} + |V_{z,v,A1}| + V_{z,n,B1} + |V_{z,v,B1}|$$

$$V_z = 5,320 + |4,310| + 5,527 + |-3,857| = 19,014 \text{ KN}$$

$$V_y = |V_{y,d,A1}| + |V_{y,d,B1}| + |V_{y,d,T1}|$$

$$V_y = |3,793| + |-3,793| + |0,655| = 8,241 \text{ KN}$$

$$V = \sqrt{V_z^2 + V_y^2} = \sqrt{19,014^2 + 8,241^2} = 20,723 \text{ KN}$$

2.4.2.2 ZJEDNODUŠENÉ VNITŘNÍ SÍLYvýsledné vnitřní síly

$$N' = N_{d,A1} + N_{d,B1} + N_{d,T1} = 27,270 + 28,330 + 1,226 = 56,826 \text{ KN}$$

$$V_z' = |V_{z,d,A1}| + |V_{z,d,B1}| = |4,394| + |-3,933| = 8,327 \text{ KN}$$

$$V_y' = V_y = 8,241 \text{ KN}$$

$$V' = \sqrt{V_z'^2 + V_y'^2} = \sqrt{8,327^2 + 8,241^2} = 11,716 \text{ KN}$$

2.4.2.3 ZHODNOCENÍ

$$\text{skutečná normálová síla} \quad N = 53,983 \text{ KN}$$

$$\text{zjednodušená normálová síla} \quad N' = 56,826 \text{ KN}$$

$$\text{rozdíl} \quad \approx +5\%$$

při zjednodušení lze očekávat o 5 % vyšší normálové namáhání, není tedy třeba uvažovat s žádnou tahovou rezervou

skutečná posouvající síla $V = 20,723 \text{ kN}$

zjednodušená posouvající síla $V' = 11,716 \text{ kN}$

rozdíl $\approx -43 \%$

při zjednodušení lze očekávat o 43 % nižší smykové namáhání, proto bude ve smykových posudech žebra uvažováno s minimálně 50 % rezervou únosnosti

2.4.3 ČEPOVÝ SPOJ

2.4.3.1 GEOMETRIE

| | | |
|-----|---------------|-----------------------|
| čep | průměr | $d = 20 \text{ mm}$ |
| | průměr otvoru | $d_0 = 22 \text{ mm}$ |

2.4.3.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-----|--------------|----------------------------|
| čep | ocel | S460 |
| | mez kluzu | $f_{yp} = 460 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_{up} = 610 \text{ MPa}$ |

| | | |
|-------|--------------|-------------------------|
| plech | ocel | S355 |
| | mez kluzu | $f_y = 355 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 490 \text{ MPa}$ |

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$
 $\gamma_{m2} = 1,25$

2.4.3.3 NÁVRH PLECHU

$$F_{Ed} = \max F_d = 70,377 \text{ kN}$$

$$t \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{70,377 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{355}} = 9,86 \text{ mm}$$

volím $t = 12 \text{ mm}$

$$d_0 \leq 2,5 \cdot t = 2,5 \cdot 12 = 30 \text{ mm}$$

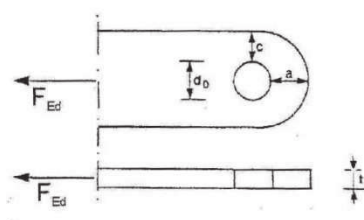
$$22 \text{ mm} < 30 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

$$a \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{70,377 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 12 \cdot 355} + \frac{2 \cdot 22}{3} = 22,9 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{70,377 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 12 \cdot 355} + \frac{22}{3} = 15,6 \text{ mm}$$

volím $t = 12 \text{ mm}$ $a = c = 45 \text{ mm}$



2.4.3.4 ÚNOSNOST VE STŘIHU

$$A = \pi \cdot \frac{d^2}{4} = \pi \cdot \frac{20^2}{4} = 314 \text{ mm}^2$$

počet stříhových rovin $n_s = 2$

$$F_{v,Rd} = n_s \cdot \frac{0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 314 \cdot 610}{1,25} = 183,878 \text{ KN}$$

$$F_{Ed} = F_{v,Ed} = F_{b,Ed} = \max F_d = 70,377 \text{ KN}$$

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$70,377 < 183,878$$

VYHOVÍ (využití 38 %)

2.4.3.5 ÚNOSNOST PLECHU A ČEPU V OTLAČENÍ

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 12 \cdot 20 \cdot 355}{1,00} = 127,800 \text{ KN}$$

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$70,377 < 127,800$$

VYHOVÍ (využití 55 %)

2.4.3.6 ÚNOSNOST ČEPU V OHYBU

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} \cdot (b + 4 \cdot c + 2 \cdot a) = \frac{70,377 \cdot 10^3}{8} \cdot (12 + 4 \cdot 3,5 + 2 \cdot 9)$$

$$M_{Ed} = 0,387 \text{ KNm}$$

$$I_y = \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot d^4 = \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot 20^4 = 7,85 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$W_y = W_{el} = \frac{I_y}{(d/2)} = \frac{7,85 \cdot 10^3}{(20/2)} = 7,85 \cdot 10^2 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 7,85 \cdot 10^2 \cdot 460}{1,00} = 0,542 \text{ KNm}$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$0,387 < 0,542$$

VYHOVÍ (využití 71 %)

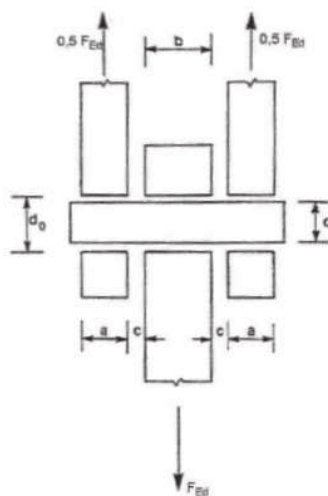
2.4.3.7 ÚNOSNOST ČEPU PŘI KOMBINACI STŘIHU A OHYBU

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1$$

$$\left[\frac{0,387}{0,542} \right]^2 + \left[\frac{70,377}{183,878} \right]^2 \leq 1$$

$$0,656 < 1$$

VYHOVÍ (využití 66 %)



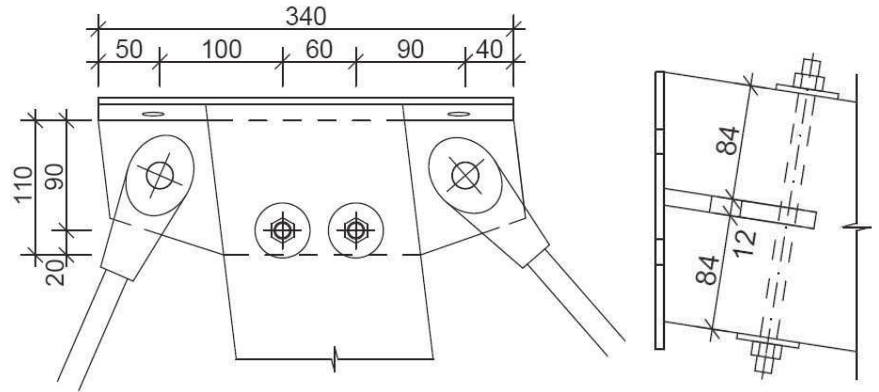
$$a = t_k = 9 \text{ mm}$$

$$b = t = 12 \text{ mm}$$

$$c = 3,5 \text{ mm}$$

t_k tloušťka plechu
koncovky

2.4.4 PLECH VSAZENÝ DO VAZNICE

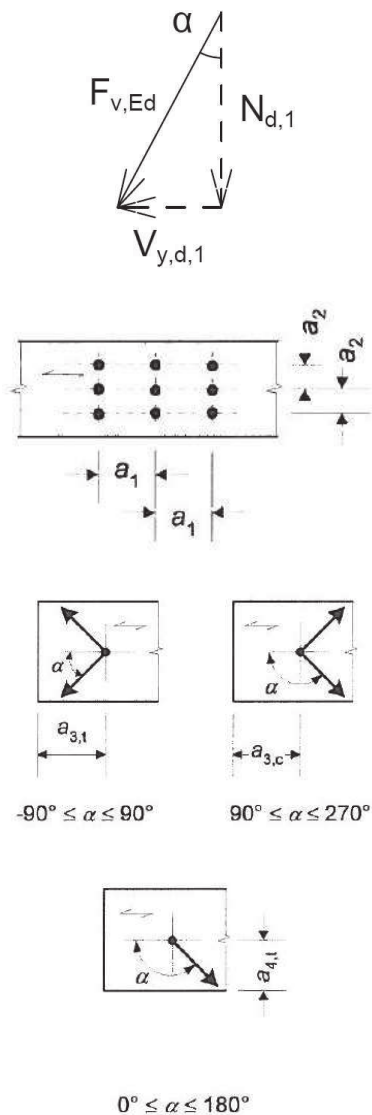


2.4.4.1 GEOMETRIE

| | | |
|--------------|-------------------|-------------------------------------|
| rostlé dřevo | šířka | $b = 160 \text{ mm}$ |
| | výška | $h = 180 \text{ mm}$ |
| | tloušťka ve spoji | $t_1 = (h - t) / 2 = 84 \text{ mm}$ |
| plech | tloušťka | $t = 12 \text{ mm}$ |
| | vyložení plechu | $l_p = 110 \text{ mm}$ |
| svorník | průměr | $d = 12 \text{ mm}$ |
| | počet | $n = 2$ |

2.4.4.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------------------------------|--|---|
| rostlé dřevo | dřevo | C24 |
| | třída provozu | 2 |
| | třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| | hodnota k_{mod} | $k_{mod} = 0,90$ |
| | hustota | $\rho = 350 \text{ kg/m}^3$ |
| | charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 4,00 \text{ MPa}$ |
| | návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 2,77 \text{ MPa}$ |
| | charakteristická pevnost v tlaku \perp | $f_{c,90,k} = 2,50 \text{ MPa}$ |
| | návrhová pevnost v tlaku \perp | $f_{c,90,d} = 1,73 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | | $\gamma_m = 1,3 \text{ (pro spoje a RD)}$ |
| svorník | ocel | 8.8 |
| | mez kluzu | $f_{y,k} = 640 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_{u,k} = 800 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ $\gamma_{m2} = 1,25$ |



2.4.4.3 PEVNOST V OTLAČENÍ DŘEVA

$$F_{v,Ed} = \sqrt{N_{d,1}^2 + V_{y,d,1}^2} \quad \alpha = \operatorname{tg}^{-1} \cdot \frac{V_{y,d,1}}{N_{d,1}}$$

$$a_1 = (4 + |\cos \alpha|) \cdot d$$

$$a_2 = 4 \cdot d$$

$$a_{3,t} = \max (7 \cdot d ; 80 \text{ mm})$$

$$a_{3,c,1} = 4 \cdot d$$

$$a_{3,c,2} = \max [(1 + 6 \cdot \sin \alpha) \cdot d ; 4 \cdot d]$$

$$a_{4,t} = \max [(2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d ; 3 \cdot d]$$

$$a_{4,c} = 3 \cdot d$$

pozn. tlak bude přenesen kontaktem mezi vaznicí a žebrem pomocí distanční podložky

| | | maximální tah ve vaznici | maximální posouvající síla |
|------------|----|-----------------------------|-------------------------------|
| $F_{v,Ed}$ | KN | 27,533 | 8,418 |
| α | ° | 7,34 | 90,0 |
| a_1 | mm | 59,9 | 48,0 |
| a_2 | mm | 48,0 | |
| $a_{3,t}$ | mm | 84,0 | |
| $a_{3,c}$ | mm | 48,0 | 84,0 |
| $a_{4,t}$ | mm | 36,0 | 48,0 |
| $a_{4,c}$ | mm | 36,0 | |

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 12^{2,6} = 153\,491 \text{ Nmm}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 350$$

$$f_{h,0,k} = 25,256 \text{ MPa}$$

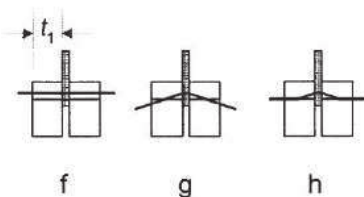
$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 12 = 1,53$$

$$f_{h,1,k} = f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

počet stříhových rovin $n_s = 2$

celkový počet svorníků $n = 2$

pevnost ocelové desky libovolné tloušťky jako střední prvek dvojstřížného spoje



$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rd}' = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}'}{\gamma_m}$$

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd}' \cdot n_s \cdot n$$

$$F_{v,ed} \leq F_{v,Rd}$$

| | | maximální tah ve vaznici | maximální posouvající síla |
|-------------|-------|-----------------------------|-------------------------------|
| $f_{h,1,k}$ | MPa | 25,006 | 16,507 |
| $F_{v,Rk}'$ | (f) | 25,206 | 16,639 |
| | (g) | 12,937 | 9,348 |
| | (h) | 15,609 | 12,682 |
| $F_{v,Rd}'$ | KN | 8,956 | 6,472 |
| $F_{v,Rd}$ | KN | 35,824 | 25,887 |
| $F_{v,ed}$ | KN | 27,533 | 8,418 |
| využití | | 77 % | 33 % |
| | | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

2.4.4.4 SMYK OSLABENÉHO PRŮŘEZU

$$V_d = \sqrt{V_{y,d,1}^2 + V_{z,d,1}^2} = \sqrt{8,418^2 + 7,959^2} = 11,585 \text{ KN}$$

$$A_{net} = (b - n \cdot d) \cdot t_1 = (160 - 2 \cdot 12) \cdot 84 = 11\,424 \text{ mm}^2$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A_{net}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{11,585 \cdot 10^3}{11\,424} = 1,52 \text{ MPa}$$

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$1,52 < 2,63$$

VYHOVÍ (využití 58 %)

2.4.4.5 TLAK KOLMO K VLÁKNŮM

$$N_d = \max |V_{z,d,1}| = 7,959 \text{ KN}$$

$$A_{dot} = b \cdot l_p = 160 \cdot 110 = 17\,600 \text{ mm}^2$$

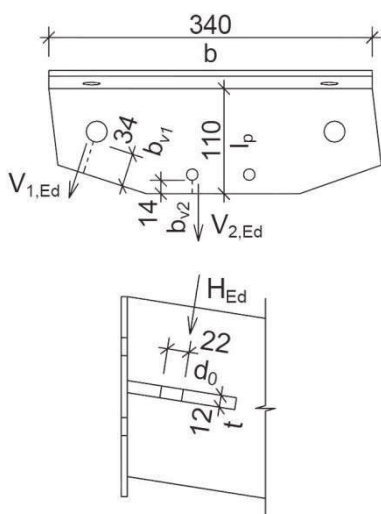
$$\sigma_{c,90,d} = \frac{N_d}{A_{dot}} = \frac{7,959 \cdot 10^3}{17\,600} = 0,452 \text{ MPa}$$

$$k_{c,90} = 1,0$$

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} = 1,0 \cdot 1,73 = 1,73 \text{ MPa}$$

$$0,452 \leq 1,73$$

VYHOVÍ (využití 26 %)



2.4.5 PLECH

2.4.5.1 GEOMETRIE

| | |
|----------------------------|---|
| tloušťka | $t = 12 \text{ mm}$ |
| šířka | $b = 340 \text{ mm}$ |
| vzdálenost krajních vláken | $e = t/2 = 6 \text{ mm}$ |
| vyložení plechu | $l_p = 110 \text{ mm}$ |
| šířka účinná ve smyku | $b_{v1} = a - d_0/2 = 45 - 22/2 = 34 \text{ mm}$ |
| | $b_{v2} = 14 \text{ mm}$ |
| smyková plocha | $A_{v1} = b_{v1} \cdot t = 408 \text{ mm}^2$ |
| | $A_{v2} = b_{v2} \cdot t = 168 \text{ mm}^2$ |
| moment setrvačnosti | $I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot t^3 = 4,90 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$ |
| modul průřezu | $W_y = I_y/e = 8,16 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$ |

2.4.5.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| plech | ocel | S355 |
| | mez kluzu | $f_y = 355 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 490 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ | |
| | $\gamma_{m2} = 1,25$ | |
| součinitel korelace | $\beta_w = 0,8$ | |

2.4.5.3 SMYK – ZTUŽIDLO

$$V_{pl,1,Rd} = \frac{A_{v1} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{408 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 83,623 \text{ KN}$$

$$V_{1,Ed} = \max F_d = 70,377 \text{ KN}$$

$$V_{1,Ed} \leq V_{pl,1,Rd}$$

$$70,377 < 83,623$$

VYHOVÍ (využití 84 %)

2.4.5.4 SMYK – VAZNICE

$$V_{pl,2,Rd} = \frac{A_{v2} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{168 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 34,433 \text{ KN}$$

$$V_{2,Ed} = \max N_{d,1}/2 = 13,635 \text{ KN}$$

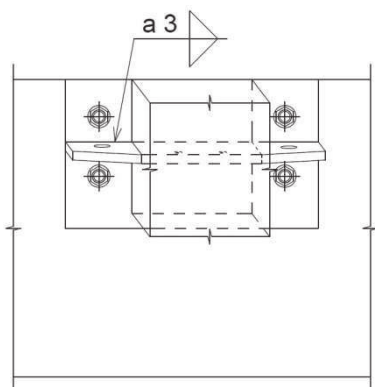
$$V_{2,Ed} \leq V_{pl,2,Rd}$$

$$13,635 < 34,433$$

VYHOVÍ (využití 40 %)

2.4.5.5 OHYB

$$M_{c,Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,16 \cdot 10^3 \cdot 355}{1,0} = 2,897 \text{ KNm}$$



$$H_{Ed} = \max |V_{z,d,1}| = 7,959 \text{ KN}$$

$$M_{Ed} = H_{Ed} \cdot \frac{l_p}{2} = 7,959 \cdot 10^3 \cdot \frac{110}{2} = 0,438 \text{ KNm}$$

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$0,438 \leq 2,897$$

VYHOVÍ (využití 15 %)

2.4.5.6 SVARY

$$\text{účinná výška svaru} \quad a = 3 \text{ mm}$$

$$\text{počet svarů} \quad n = 2$$

$$\text{účinná délka svaru} \quad l_{eff} = b - 2 \cdot a = 340 - 2 \cdot 3 = 334 \text{ mm}$$

$$\text{účinná plocha svaru} \quad A_w = n \cdot a \cdot l_{eff} = 2 \cdot 004 \text{ mm}^2$$

$$N_{sd} = \max N_{d,z,t} + odp N_{d,1} = 62,081 + (-21,973) = 40,108 \text{ KN}$$

$$V_{sd,y} = odp |V_{y,d,z,t}| + odp |V_{y,d,1}| = odp |33,148| + odp |-3,793|$$

$$V_{sd,y} = 36,941 \text{ KN}$$

$$V_{sd,z} = odp |V_{z,d,1}| = odp |3,840| = 3,840 \text{ KN}$$

$$M_{sd,y} = V_{sd,z} \cdot \frac{l_p}{2} = 3,840 \cdot 10^3 \cdot \frac{110}{2} = 0,211 \text{ KNm}$$

$$M_{sd,z} = V_{sd,y} \cdot \frac{l_p}{2} = 36,941 \cdot 10^3 \cdot \frac{110}{2} = 2,032 \text{ KNm}$$

$$z_y = \frac{b}{2} = \frac{340}{2} = 170 \text{ mm}$$

$$z_z = e = 6 \text{ mm}$$

$$I_{w,y} = n \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot l_{eff} \cdot a^3 + l_{eff} \cdot a \cdot z_z^2 \right)$$

$$I_{w,y} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 334 \cdot 3^3 + 334 \cdot 3 \cdot 6^2 \right) = 7,36 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_{w,z} = n \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot a \cdot l_{eff}^3 \right)$$

$$I_{w,z} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 334^3 \right) = 1,86 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{||} = \frac{V_{sd,y}}{A_w} = \frac{36,941 \cdot 10^3}{2 \cdot 004} = 18,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,1} = \tau_{\perp,1} = \frac{(N_{sd} + V_{sd,z})}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{(40,108 \cdot 10^3 + 3,840 \cdot 10^3)}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot 004}$$

$$\sigma_{\perp,1} = \tau_{\perp,1} = 15,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,2} = \tau_{\perp,2} = \frac{M_{sd,y} \cdot z_z}{\sqrt{2} \cdot I_{w,y}} = \frac{0,211 \cdot 10^6 \cdot 6}{\sqrt{2} \cdot 7,36 \cdot 10^4} = 12,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,3} = \tau_{\perp,3} = \frac{M_{sd,z} \cdot z_y}{\sqrt{2} \cdot I_{w,z}} = \frac{2,032 \cdot 10^6 \cdot 170}{\sqrt{2} \cdot 1,86 \cdot 10^7} = 13,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 15,5 + 12,2 + 13,1 = 40,8 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{40,8^2 + 3 \cdot 40,8^2 + 3 \cdot 18,4^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$87,6 < 360$$

VYHOVÍ (využití 24 %)

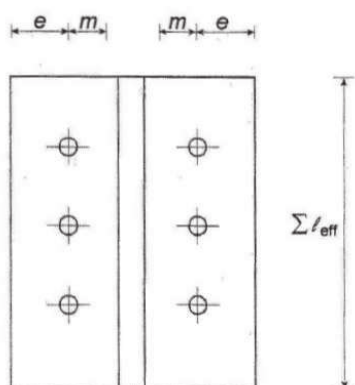
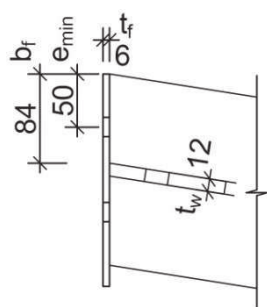
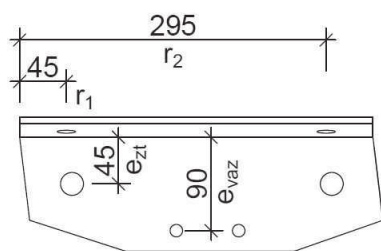
$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25}$$

$$40,8 < 259$$

VYHOVÍ (využití 16 %)

2.4.6 NÁHRADNÍ T PROFIL V TAHU

2.4.6.1 GEOMETRIE



tloušťka pásnice

$$t_f = 6 \text{ mm}$$

tloušťka stojiny

$$t_w = t = 12 \text{ mm}$$

působíště síly od ztužidla

$$e_{zt} = 45 \text{ mm}$$

působíště síly od vaznice

$$e_{vaz} = 90 \text{ mm}$$

ramena sil

$$r_1 = 45 \text{ mm}$$

$$r_2 = 295 \text{ mm}$$

parametry pásnice

$$b_f = (h - t_w)/2 = (180 - 12)/2$$

$$b_f = 84 \text{ mm}$$

$$e_{min} = e = e_1 = 50 \text{ mm}$$

$$m = b_f - e_{min} - 0,8 \cdot a \cdot \sqrt{2}$$

$$m = 84 - 50 - 0,8 \cdot 3 \cdot \sqrt{2} = 30,6 \text{ mm}$$

$$n = e_{min} \leq 1,25 \cdot m$$

$$n = 38,3 \text{ mm}$$

2.4.6.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

plech

ocel

S235

mez kluzu

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

mez pevnosti

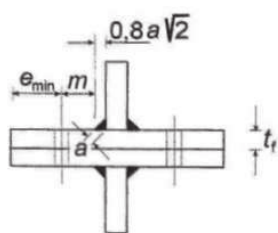
$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

součinitele spolehlivosti materiálu

$$\gamma_{m0} = 1,0$$

2.4.6.3 VNITŘNÍ SÍLY

$$F_{t,1,Ed} = \frac{\max N_{d,zt} + \text{odp } N_{d,1}}{2} = \frac{62,081 + (-21,973)}{2} = 20,054 \text{ kN}$$



$$M_{Ed} = odp |V_{y,d,zt}| \cdot e_{zt} + odp |V_{y,d,1}| \cdot e_{vaz}$$

$$M_{Ed} = |33,148 \cdot 10^3| \cdot 45 + |-3,793 \cdot 10^3| \cdot 90 = 1,833 \text{ KNm}$$

$$M_{Ed} = \left(\frac{r_1^2 \cdot F_{t,2,Ed}}{r_2} + F_{t,2,Ed} \cdot r_2 \right) = \left(\frac{45^2 \cdot F_{t,2,Ed}}{295} + F_{t,2,Ed} \cdot 295 \right)$$

$$1,833 \cdot 10^6 = F_{t,2,Ed} \cdot 301,864 \gg F_{t,2,Ed} = 6,072 \text{ KN}$$

$$F_{t,Ed} = F_{t,1,Ed} + F_{t,2,Ed} = 26,126 \text{ KN}$$

2.4.6.4 NÁVRHOVÉ ÚNOSNOSTI

$$l_{eff,cp} = \min (2 \cdot \pi \cdot m ; \pi \cdot m + 2 \cdot e_1)$$

$$l_{eff,cp} = \min (2 \cdot \pi \cdot 30,6 ; \pi \cdot 30,6 + 2 \cdot 50) = \min (192 ; 196)$$

$$l_{eff,cp} = 192 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc} = \min (4 \cdot m + 1,25 \cdot e ; 2 \cdot m + 0,625 \cdot e + e_1)$$

$$l_{eff,nc} = \min (4 \cdot 30,6 + 1,25 \cdot 50 ; 2 \cdot 30,6 + 0,625 \cdot 50 + 50)$$

$$l_{eff,nc} = \min (185 ; 142)$$

$$l_{eff,nc} = 142 \text{ mm}$$

1. ZPŮSOB

$$\sum l_{eff,1} = l_{eff,1} = l_{eff,nc} \leq l_{eff,cp}$$

$$\sum l_{eff,1} = 142 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 142 \cdot 6^2 \cdot 235}{1,0} = 300 \, 330 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 300 \, 330}{30,6} = 39,259 \text{ KN}$$

2. ZPŮSOB

$$\sum l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc}$$

$$\sum l_{eff,2} = 142 \text{ mm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 142 \cdot 6^2 \cdot 235}{1,0} = 300 \, 330 \text{ Nmm}$$

$$\sum F_{t,Rd} = 2 \cdot F_{t,Rd}' = 2 \cdot 90,432 = 180,864 \text{ KN} \quad \text{viz 2.4.7.4}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 300 \, 330 + 38,3 \cdot 180,864 \cdot 10^3}{30,6 + 38,3}$$

$$F_{T,2,Rd} = 109,256 \text{ KN}$$

3. ZPŮSOB

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 180,864 \text{ KN}$$

$$F_{T,Rd} = \min (F_{T,1,Rd} ; F_{T,2,Rd} ; F_{T,3,Rd})$$

$$F_{T,Rd} = \min (39,259 ; 109,256 ; 180,864)$$

$$F_{T,Rd} = 39,259 \text{ KN}$$

POSOUZENÍ

$$F_{t,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

$$26,126 < 39,259$$

VYHOVÍ (využití 66 %)

2.4.7 SVORNÍKY

2.4.7.1 GEOMETRIE

| | | |
|---------|---------------------|--------------------------|
| svorník | průměr | $d = 16 \text{ mm}$ |
| | průměr hlavy šroubu | $d_m = 25,9 \text{ mm}$ |
| | plocha jádra | $A_s = 157 \text{ mm}^2$ |
| | tloušťka podložky | $t_p = 3 \text{ mm}$ |
| | počet | $n = 4$ |

| | | |
|-------|----------|--------------------------|
| plech | tloušťka | $t = t_f = 6 \text{ mm}$ |
|-------|----------|--------------------------|

2.4.7.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|---------|--------------|----------------------------|
| svorník | ocel | 8.8 |
| | mez kluzu | $f_{yb} = 640 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$ |
| plech | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |

| | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ |
| | $\gamma_{m2} = 1,25$ |

2.4.7.3 ROZTEČE V PLECHU

$$e_1 = e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 18 = 43,2 \text{ mm}$$

$$\text{volím} \quad e_1 = 45 \text{ mm} \quad e_2 = 50 \text{ mm} \quad p_1 = 250 \text{ mm} \quad p_2 = 80 \text{ mm}$$

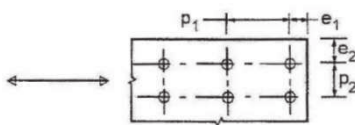
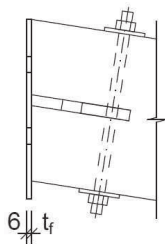
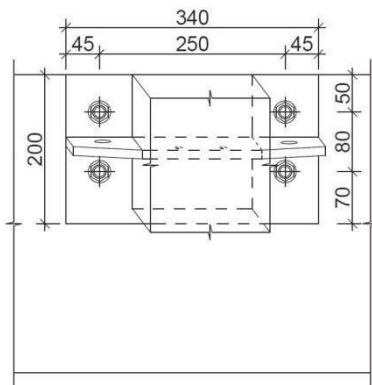
2.4.7.4 ÚNOSNOST V TAHU

$$F_{t,Rd}' = \frac{k_2 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 157 \cdot 800}{1,25} = 90,432 \text{ KN}$$

$$F_{t,Rd} = n \cdot F_{t,Rd}' = 4 \cdot 90,432 = 361,728 \text{ KN}$$

$$F_{t,Ed} = B_{p,Ed} = \max N_{d,zl} + odp N_{d,1} + odp N_{d,2}$$

$$F_{t,Ed} = B_{p,Ed} = 62,081 + (-21,973) + 32,806 = 72,914 \text{ KN}$$



$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$$

$$72,914 < 361,728$$

VYHOVÍ (využití 20 %)

2.4.7.5 ÚNOSNOST V PROTLAČENÍ

$$B_{p,Rd}' = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 25,9 \cdot 3 \cdot 360}{1,25} = 42,181 \text{ KN}$$

$$B_{p,Rd} = n \cdot B_{p,Rd}' = 4 \cdot 42,181 = 168,723 \text{ KN}$$

$$B_{p,Ed} \leq B_{p,Rd}$$

$$72,914 < 168,723$$

VYHOVÍ (využití 43 %)

2.4.7.6 ÚNOSNOST VE STŘIHU

$$\text{počet stříhových rovin} \quad n_s = 2$$

$$F_{v,Rd}' = n_s \cdot \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 157 \cdot 800}{1,25} = 120,576 \text{ KN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot F_{v,Rd}' = 4 \cdot 120,576 = 482,304 \text{ KN}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{(|V_{y,d,1}| + |V_{y,d,2}| + |V_{y,d,zt}|)^2 + (|V_{z,d,1}| + |V_{z,d,2}|)^2}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{(|-3,793| + |3,793| + |33,148|)^2 + (|3,840| + |-2,135|)^2}$$

$$F_{v,Ed} = F_{b,Ed} = 41,170 \text{ KN}$$

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$41,170 < 482,304$$

VYHOVÍ (využití 9 %)

2.4.7.7 ÚNOSNOST V OTLAČENÍ

$$\alpha_d = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0} ; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} ; \frac{f_{ub}}{f_u} ; 1,0 \right)$$

$$\alpha_d = \min \left(\frac{45}{3 \cdot 16} ; \frac{250}{3 \cdot 16} - \frac{1}{4} ; \frac{800}{360} ; 1,0 \right)$$

$$\alpha_d = \min (0,938 ; 4,96 ; 2,22 ; 1,0) = 0,938$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 ; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 ; 2,5 \right)$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{50}{16} - 1,7 ; 1,4 \cdot \frac{80}{16} - 1,7 ; 2,5 \right)$$

$$k_1 = \min (7,05 ; 5,30 ; 2,5) = 2,5$$

$$F_{b,Rd}' = \frac{k_1 \cdot \alpha_d \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,938 \cdot 360 \cdot 16 \cdot (2 \cdot 6)}{1,25} = 129,669 \text{ KN}$$

$$F_{b,Rd} = n \cdot F_{b,Rd}' = 4 \cdot 129,669 = 518,676 \text{ kN}$$

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$41,170 < 518,676$$

VYHOVÍ (využití 8 %)

2.4.7.8 KOMBINACE STŘIHU A TAHU

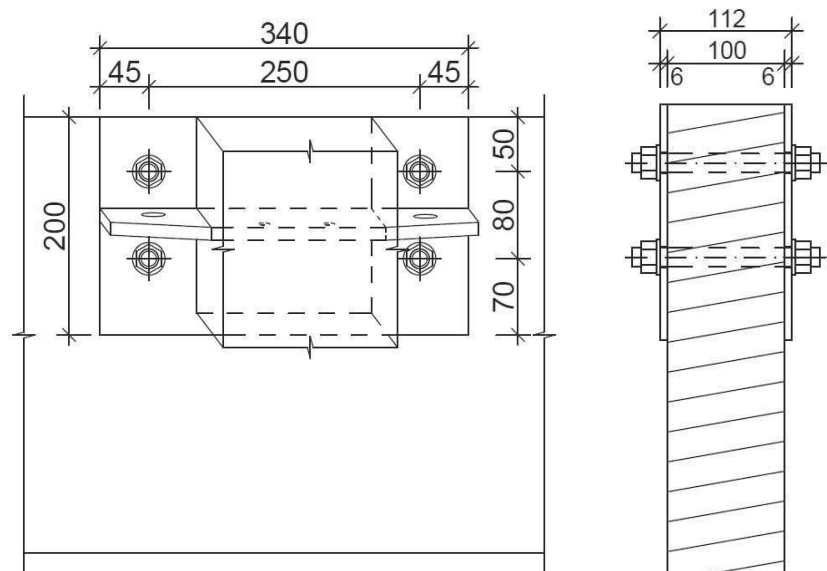
$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{41,170}{482,304} + \frac{72,914}{1,4 \cdot 361,728} \leq 1,0$$

$$0,229 \leq 1,0$$

VYHOVÍ (využití 23 %)

2.4.8 PLECHY OSAZENÉ NA ŽEBRO

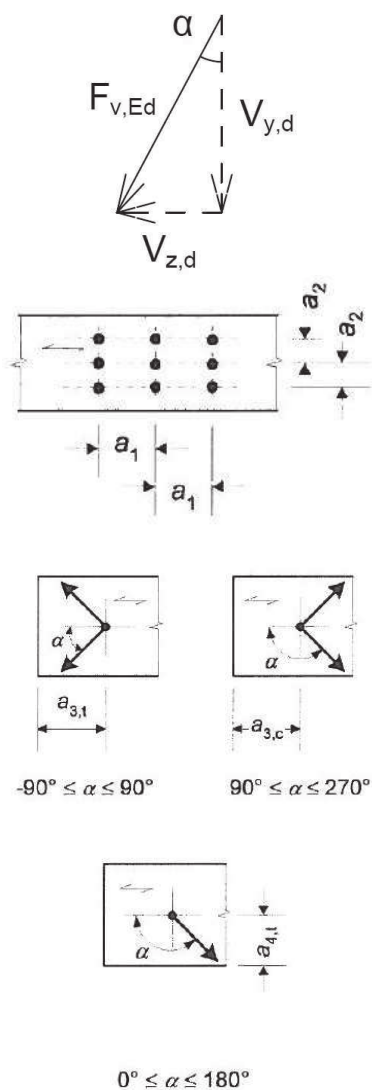


2.4.8.1 GEOMETRIE

| | | |
|---------|----------|----------------------------|
| LLD | tloušťka | $b = t_2 = 100 \text{ mm}$ |
| plech | tloušťka | $t = 6 \text{ mm}$ |
| svorník | průměr | $d = 16 \text{ mm}$ |
| | počet | $n = 4$ |

2.4.8.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| LLD | dřevo | GL24h |
| | třída provozu | 2 |
| | třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| | hodnota k_{mod} | $k_{mod} = 0,90$ |
| | hustota | $\rho = 380 \text{ kg/m}^3$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | | $\gamma_m = 1,3 \text{ (pro spoje)}$ |



| | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| svorník | ocel | 8.8 |
| | mez kluzu | $f_{y,k} = 640 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_{u,k} = 800 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ | |
| | $\gamma_{m2} = 1,25$ | |

2.4.8.3 PEVNOST V OTLAČENÍ DŘEVA

$$F_{v,Ed} = \sqrt{(|V_{y,d,1}| + |V_{y,d,2}| + |V_{y,d,zt}|)^2 + (|V_{z,d,1}| + |V_{z,d,2}|)^2}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \cdot \frac{|V_{z,d,1}| + |V_{z,d,2}|}{|V_{y,d,1}| + |V_{y,d,2}| + |V_{y,d,zt}|}$$

$$a_1 = (4 + |\cos \alpha|) \cdot d$$

$$a_2 = 4 \cdot d$$

$$a_{3,t} = \max (7 \cdot d ; 80 \text{ mm})$$

$$a_{3,c,1} = 4 \cdot d$$

$$a_{3,c,2} = \max [(1 + 6 \cdot \sin \alpha) \cdot d ; 4 \cdot d]$$

$$a_{4,t} = \max [(2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d ; 3 \cdot d]$$

$$a_{4,c} = 3 \cdot d$$

| | | maximální tah ve ztužidle | maximální posouvající síla |
|------------|----|------------------------------|-------------------------------|
| $F_{v,Ed}$ | KN | 41,170 | 22,913 |
| α | ° | 8,34 | 42,0 |
| a_1 | mm | 79,8 | 75,9 |
| a_2 | mm | 64,0 | |
| $a_{3,t}$ | mm | 112,0 | |
| $a_{3,c}$ | mm | 64,0 | 80,2 |
| $a_{4,t}$ | mm | 48,0 | 53,4 |
| $a_{4,c}$ | mm | 48,0 | |

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 16^{2,6} = 324\,282 \text{ Nmm}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 380$$

$$f_{h,0,k} = 26,174 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 16 = 1,59$$

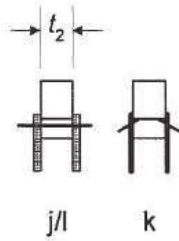
$$f_{h,2,k} = f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$\text{počet stříhových rovin} \quad n_s = 2$$

$$\text{celkový počet svorníků} \quad n = 4$$

$$t < 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 16 = 8 \text{ mm}$$

$$6 \text{ mm} < 8 \text{ mm} \quad \gg \quad \text{tenká deska}$$



pevnost tenké ocelové desky jako vnějšího prvku dvojstřížného spoje

$$F_{v,Rk}' = \min \left\{ \frac{0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d}{1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \right.$$

$$F_{v,Rd}' = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}'}{\gamma_m}$$

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd}' \cdot n_s \cdot n$$

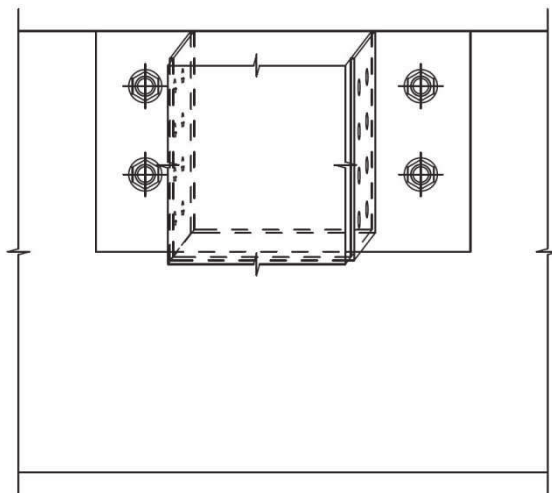
$$F_{v,ed} \leq F_{v,Rd}$$

| | | maximální tah ve ztužidle | maximální posouvající síla |
|-------------|------------|------------------------------|-------------------------------|
| $f_{h,2,k}$ | <i>MPa</i> | 25,853 | 20,704 |
| $F_{v,Rk}'$ | (j) | 20,682 | 16,563 |
| | (k) | 18,836 | 16,856 |
| $F_{v,Rd}'$ | <i>KN</i> | 13,040 | 11,467 |
| $F_{v,Rd}$ | <i>KN</i> | 104,320 | 91,736 |
| $F_{v,ed}$ | <i>KN</i> | 41,170 | 22,913 |
| využití | | 39 % | 25 % |
| | | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

2.5 ULOŽENÍ VAZNICE KOPULE NA ŽEBRO

spoj je tvořen třmenem vytvořeným z plechu, který je k vaznici připevněn pomocí vrtů, třmen je osazen na styčnickový plech připevněný na žebro pomocí svorníků

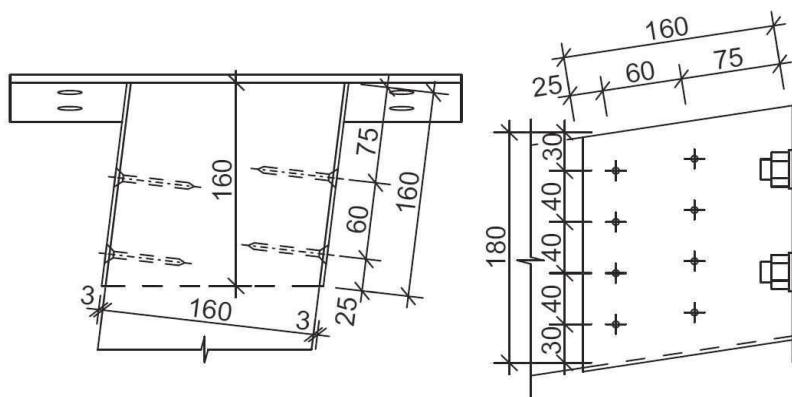
pozn. vlivem tvaru kopule nejde o zcela kolmý spoj
>> viz 2.4.2



2.5.1 VNITŘNÍ SÍLY

viz 2.4.1

2.5.2 PLECHY OSAZENÉ NA VAZNICI



2.5.2.1 GEOMETRIE

| | | |
|--------------|-------------------|-------------------------------|
| rostlé dřevo | šířka | $b = 160 \text{ mm}$ |
| | výška | $h = 180 \text{ mm}$ |
| | tloušťka ve spoji | $t_1 = l - t = 57 \text{ mm}$ |
| třmen | tloušťka | $t = 3 \text{ mm}$ |
| (plech) | vyložení plechu | $l_p = 160 \text{ mm}$ |

| | | |
|------|-----------------|----------------------------------|
| vrut | průměr | $d = 5 \text{ mm}$ |
| | délka | $l = 60 \text{ mm}$ |
| | efektivní délka | $l_{ef} = l - d = 55 \text{ mm}$ |
| | počet | $n = 8$ |
| | počet spojů | $s = 2$ |

2.5.2.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|--------------|--|---|
| rostlé dřevo | dřevo | C24 |
| | třída provozu | 2 |
| | třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| | hodnota k_{mod} | $k_{mod} = 0,90$ |
| | hustota | $\rho = 350 \text{ kg/m}^3$ |
| | charakteristická pevnost v tlaku \perp | $f_{c,90,k} = 2,50 \text{ MPa}$ |
| | návrhová pevnost v tlaku \perp | $f_{c,90,d} = 1,73 \text{ MPa}$ |
| | součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_m = 1,3$ (pro spoje a RD) |
| vrut | ocel | 5.6 |
| | mez kluzu | $f_y = 300 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 500 \text{ MPa}$ |
| | součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ $\gamma_{m2} = 1,25$ |

2.5.2.3 ÚNOSNOST NA VYTAŽENÍ SPOJE

$$f_{ax,k} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_k^{1,5} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 350^{1,5} = 23,572 \text{ MPa}$$

$\alpha = 90^\circ \gg$ únosnost na vytažení kolmo k vláknům

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha + 1,5 \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{23,572}{\sin^2 90 + 1,5 \cdot \cos^2 90} = 23,572 \text{ MPa}$$

únosnost na vytažení jednoho spojovacího prostředku

$$F_{ax,Rk} = (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{0,8} \cdot f_{ax,\alpha,k} = (\pi \cdot 5 \cdot 55)^{0,8} \cdot 23,572 = 5,267 \text{ kN}$$

2.5.2.4 PEVNOST V OTLAČENÍ DŘEVA

$$F_{v,Ed} = \frac{\sqrt{N_{d,2}^2 + V_{z,d,2}^2}}{s} \quad \alpha = \operatorname{tg}^{-1} \cdot \frac{V_{z,d,2}}{N_{d,2}}$$

$$a_1 = (5 + 7 \cdot |\cos \alpha|) \cdot d$$

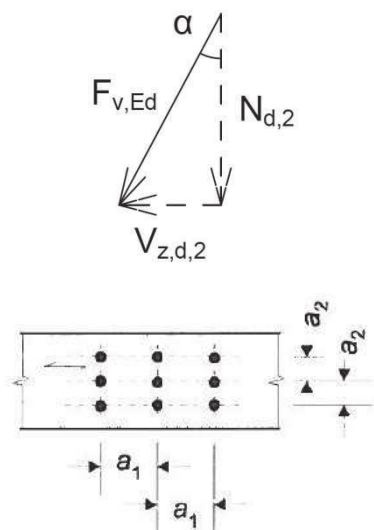
$$a_2 = 5 \cdot d$$

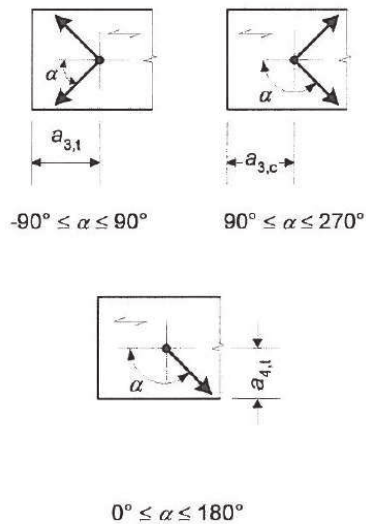
$$a_{3,t} = (10 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$$

$$a_{3,c} = 10 \cdot d$$

$$a_{4,t} = (5 + 5 \cdot \sin \alpha) \cdot d$$

$$a_{4,c} = 5 \cdot d$$





pozn. s posouvající silou se uvažuje pouze při sání, v opačném případě se posouvající síla přenese opřením vaznice o třmen

| | | maximální posouvající síla od sání |
|------------|------------|------------------------------------|
| $F_{v,Ed}$ | KN | 16,438 |
| α | $^{\circ}$ | 3,72 |
| a_1 | mm | 59,9 |
| a_2 | mm | 25,0 |
| $a_{3,t}$ | mm | 74,9 |
| $a_{3,c}$ | mm | 50,0 |
| $a_{4,t}$ | mm | 26,6 |
| $a_{4,c}$ | mm | 25,0 |

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 5^{2,6} = 9\,849 \text{ Nmm}$$

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 350 \cdot 5^{-0,3}$$

$$f_{h,k} = 17,709 \text{ MPa}$$

$$\text{počet stříhových rovin} \quad n_s = 1$$

$$\text{počet řad vrutů} \quad p = 4$$

účinný počet vrutů v jedné řadě rovnoběžné s vlákny

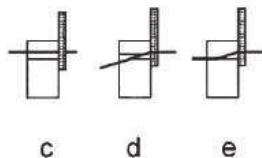
$$a_1 = 60 \text{ mm} = 12 \cdot d \quad \gg \quad k_{ef} = 0,925$$

$$n_{ef} = n^{k_{ef}} = 2^{0,925} = 1,85$$

$$t > 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 5 = 2,5 \text{ mm}$$

$$3 \text{ mm} > 2,5 \text{ mm} \quad \gg \quad \text{tlustá deska}$$

pevnost tlusté ocelové desky jednostřížného spoje



$$F_{v,Rk}' = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \end{array} \right.$$

pozn. příspěvek k únosnosti od účinku sepnutí spoje se pro vruty omezuje na 100% z Johansenovy části

$$F_{v,Rd}' = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}'}{\gamma_m}$$

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd}' \cdot n_s \cdot p \cdot n_{ef}$$

$$F_{v,ed} \leq F_{v,Rd}$$

| | | |
|------------|-------|------------------------------------|
| | | maximální posouvající síla od sání |
| $F_{v,Rk}$ | (c) | 3,648 |
| | (d) | 3,465 |
| | (e) | 5,047 |
| $F_{v,Rd}$ | KN | 2,399 |
| $F_{v,Rd}$ | KN | 17,753 |
| $F_{v,ed}$ | KN | 16,438 |
| využití | | 93 % |
| | | VYHOVÍ |

2.5.2.5 TLAK KOLMO K VLÁKNŮM

$$N_d = \max |V_{z,d,2}| = 7,374 \text{ KN}$$

$$A_{dot} = b \cdot l_p = 160 \cdot 160 = 25\,600 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{N_d}{A_{dot}} = \frac{7,374 \cdot 10^3}{25\,600} = 0,288 \text{ MPa}$$

$$k_{c,90} = 1,0$$

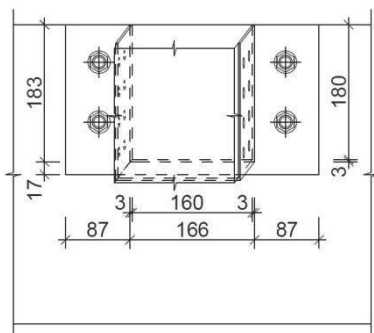
$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} = 1,0 \cdot 1,73 = 1,73 \text{ MPa}$$

$$0,288 \leq 1,73$$

VYHOVÍ (využití 17 %)

2.5.3 TŘMEN

2.5.3.1 GEOMETRIE



tloušťka

$$t = 3 \text{ mm}$$

šířka

$$b = 160 \text{ mm}$$

výška

$$h = 180 \text{ mm}$$

vyložení plechu

$$l_p = 160 \text{ mm}$$

oslabená plocha

$$A_{net} = 2 \cdot (h - n/2 \cdot d) \cdot t + b \cdot t$$

$$A_{net} = 2 \cdot (180 - 8/2 \cdot 5) \cdot 3 + 160 \cdot 3$$

$$A_{net} = 1\,440 \text{ mm}^2$$

smyková plocha

$$A_{v,y} = b \cdot t = 160 \cdot 3$$

$$A_{v,y} = 480 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,z} = 2 \cdot (h - n/2 \cdot d) \cdot t$$

$$A_{v,z} = 2 \cdot (180 - 8/2 \cdot 5) \cdot 3$$

$$A_{v,z} = 960 \text{ mm}^2$$

2.5.3.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| třmen | ocel | S235 |
| (plech) | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ | |
| | $\gamma_{m2} = 1,25$ | |
| součinitel korelace | $\beta_w = 0,8$ | |

2.5.3.3 TAH

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1\,440 \cdot 360}{1,25} = 373,248 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} = \max N_{d,2} = 32,806 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{u,Rd}$$

$$32,806 < 373,248$$

VYHOVÍ (využití 9 %)

2.5.3.4 SMYK

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{480 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 65,125 \text{ KN}$$

$$V_{y,Ed} = \max |V_{y,d,2}| = 8,041 \text{ KN}$$

$$V_{y,Ed} \leq V_{pl,y,Rd}$$

$$8,041 < 65,125$$

VYHOVÍ (využití 12 %)

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{960 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 130,250 \text{ KN}$$

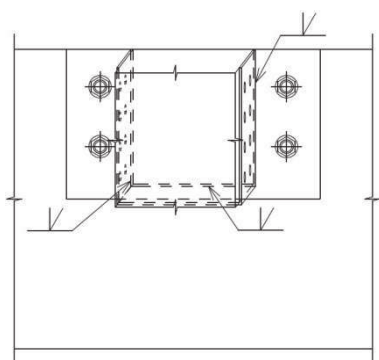
$$V_{z,Ed} = \max |V_{z,d,2}| = 7,374 \text{ KN}$$

$$V_{z,Ed} \leq V_{pl,z,Rd}$$

$$7,374 < 130,250$$

VYHOVÍ (využití 6 %)

2.5.3.5 SVARY



účinná výška svaru

$$a = t = 3 \text{ mm}$$

účinná délka svaru

$$l_{eff,1} = h - 2 \cdot a = 180 - 2 \cdot 3$$

$$l_{eff,1} = 174 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = b - 2 \cdot a = 160 - 2 \cdot 3$$

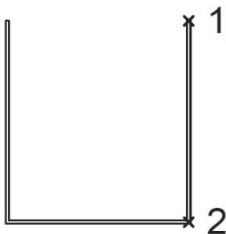
$$l_{eff,2} = 154 \text{ mm}$$

účinná plocha svaru

$$A_{w,z} = 2 \cdot a \cdot l_{eff,1} = 1\,044 \text{ mm}^2$$

$$A_{w,y} = a \cdot l_{eff,2} = 462 \text{ mm}^2$$

$$A_w = A_{w,z} + A_{w,y} = 1\,506 \text{ mm}^2$$



$$N_{sd} = \max N_{d,2} = 32,806 \text{ KN}$$

$$V_{sd,y} = \text{odp } |V_{y,d,2}| = 3,793 \text{ KN}$$

$$V_{sd,z} = \text{odp } |V_{z,d,2}| = 2,135 \text{ KN}$$

$$M_{sd,y} = V_{sd,z} \cdot \frac{l_p}{2} = 2,135 \cdot 10^3 \cdot \frac{160}{2} = 0,171 \text{ KNm}$$

$$M_{sd,z} = V_{sd,y} \cdot \frac{l_p}{2} = 3,793 \cdot 10^3 \cdot \frac{160}{2} = 0,303 \text{ KNm}$$

$$z_{y,1} = \frac{b}{2} = \frac{160}{2} = 80 \text{ mm}$$

$$z_t = z_{z,1} = \frac{2 \cdot h \cdot a \cdot \frac{h}{2}}{2 \cdot h \cdot a + b \cdot a} = \frac{2 \cdot 180 \cdot 3 \cdot \frac{180}{2}}{2 \cdot 180 \cdot 3 + 160 \cdot 3} = 62,3 \text{ mm}$$

$$z_{z,2} = h - z_{z,1} = 180 - 62,3 = 117,7 \text{ mm}$$

$$I_{w,y} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot a \cdot l_{eff,1}^3 + a \cdot l_{eff,1} \cdot \left(\frac{h}{2} - z_{z,1} \right)^2 \right) + \frac{1}{12} \cdot l_{eff,2} \cdot a^3 + l_{eff,2} \cdot a \cdot z_{z,1}^2$$

$$I_{w,y} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 174^3 + 3 \cdot 174 \cdot \left(\frac{180}{2} - 62,3 \right)^2 \right) + \frac{1}{12} \cdot 154 \cdot 3^3 + 154 \cdot 3 \cdot 62,3^2$$

$$I_{w,y} = 5,23 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{w,z} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot l_{eff,1} \cdot a^3 + l_{eff,1} \cdot a \cdot z_{y,1}^2 \right) + \frac{1}{12} \cdot a \cdot l_{eff,2}^3$$

$$I_{w,z} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 174 \cdot 3^3 + 174 \cdot 3 \cdot 80^2 \right) + \frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 154^3$$

$$I_{w,z} = 7,59 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

BOD 1

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{sd,z}}{A_{wz}} = \frac{2,135 \cdot 10^3}{1\,044} = 2,05 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,1} = \tau_{\perp,1} = \frac{N_{sd}}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{32,806 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 1\,506} = 15,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,2} = \tau_{\perp,2} = \frac{M_{sd,y} \cdot z_{z,2}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,y}} = \frac{0,171 \cdot 10^6 \cdot 117,7}{\sqrt{2} \cdot 5,23 \cdot 10^6} = 2,72 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,3} = \tau_{\perp,3} = \frac{M_{sd,z} \cdot z_{y,1}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,z}} = \frac{0,303 \cdot 10^6 \cdot 80}{\sqrt{2} \cdot 7,59 \cdot 10^6} = 2,26 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 15,4 + 2,72 + 2,26 = 20,4 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{20,4^2 + 3 \cdot 20,4^2 + 3 \cdot 2,05^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$41,0 < 360$$

VYHOVÍ (využití 11 %)

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25}$$

$$20,4 < 259$$

VYHOVÍ (využití 8 %)

BOD 2

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{sd,y}}{A_{wy}} = \frac{3,793 \cdot 10^3}{462} = 8,21 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,1} = \tau_{\perp,1} = \frac{N_{sd}}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{32,806 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 1506} = 15,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,2} = \tau_{\perp,2} = \frac{M_{sd,y} \cdot z_{z,1}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,y}} = \frac{0,171 \cdot 10^6 \cdot 62,3}{\sqrt{2} \cdot 5,23 \cdot 10^6} = 1,44 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,3} = \tau_{\perp,3} = \frac{M_{sd,z} \cdot z_{y,1}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,z}} = \frac{0,303 \cdot 10^6 \cdot 80}{\sqrt{2} \cdot 7,59 \cdot 10^6} = 2,26 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 15,4 + 1,44 + 2,26 = 19,1 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{19,1^2 + 3 \cdot 19,1^2 + 3 \cdot 8,21^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$40,8 < 360$$

VYHOVÍ (využití 11 %)

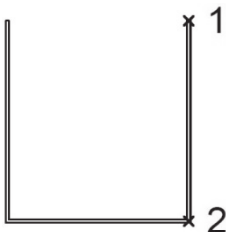
$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25}$$

$$19,1 < 259$$

VYHOVÍ (využití 7 %)

2.5.4 SVORNÍKY

viz 2.4.7



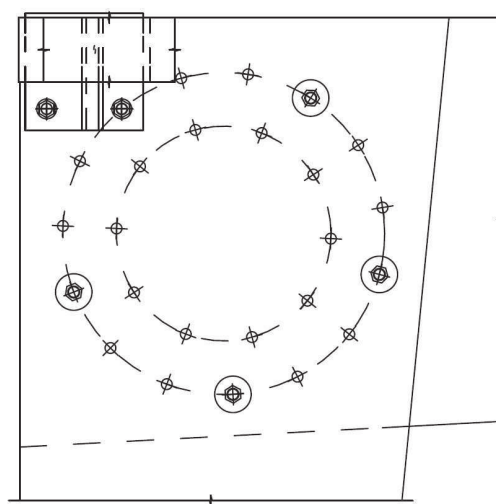
2.5.5 PLECHY OSAZENÉ NA ŽEBRO

viz 2.4.8

3 SPOJE HALY

3.1 RÁMOVÝ ROH

spoj je tvořen tuhým spojením střešního žebra vsazeného mezi 2 dřívky stěnových žebířů zajištěných svorníky a kolíky



3.1.1 VNITŘNÍ SÍLY

střešní žebra

| | |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| maximální tlak a ohybový moment | $N_d = -31,077 \text{ KN}$ |
| (žebro B02, KV11) | odp. $V_{z,d} = -74,745 \text{ KN}$ |
| | odp. $M_{y,d} = -98,196 \text{ KN}$ |

stěnová žebra

| | |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| maximální tlak a ohybový moment | $N_d = -82,738 \text{ KN}$ |
| (žebro C02, KV11) | odp. $V_{z,d} = -31,419 \text{ KN}$ |
| | odp. $M_{y,d} = -94,417 \text{ KN}$ |

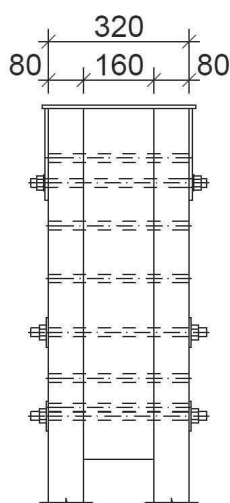
3.1.1.1 GEOMETRIE

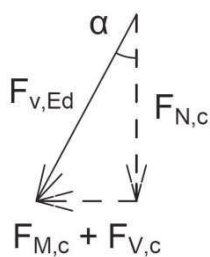
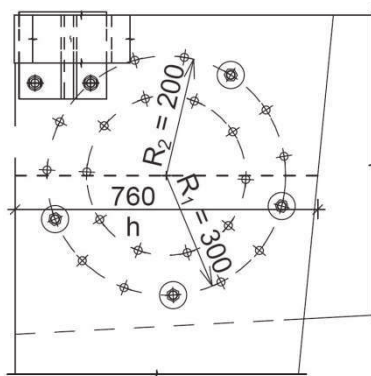
| | | |
|-----|--------------------------|------------------------|
| LLD | tloušťka stěnového žebra | $t_1 = 80 \text{ mm}$ |
| | tloušťka střešního žebra | $t_2 = 160 \text{ mm}$ |
| | výška žebířů | $h = 760 \text{ mm}$ |
| | kolík, svor. průměr | $d = 20 \text{ mm}$ |

3.1.1.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-----|-----------------------|-----------------------------|
| LLD | dřevo | GL24h |
| | třída provozu | 2 |
| | třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| | hodnota k_{mod} | $k_{mod} = 0,90$ |
| | hustota | $\rho = 380 \text{ kg/m}^3$ |

| | |
|-----------------------------------|------------------------------|
| charakteristická pevnost ve smyku | $f_{v,k} = 2,70 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost ve smyku | $f_{v,d} = 1,87 \text{ MPa}$ |





součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_m = 1,3$ (pro spoje)

$\gamma_m = 1,25$ (pro LLD)

kolík ocel E335
 mez kluzu $f_{y,k} = 300 \text{ MPa}$
 mez pevnosti $f_{u,k} = 600 \text{ MPa}$

svorník ocel 8.8
 mez kluzu $f_{y,k} = 640 \text{ MPa}$
 mez pevnosti $f_{u,k} = 800 \text{ MPa}$

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$
 $\gamma_{m2} = 1,25$

3.1.2 PEVNOST V OTLAČENÍ DŘEVA

$$r_1 = \frac{h}{2} - 4 \cdot d = \frac{760}{2} - 4 \cdot 20 = 300 \text{ mm}$$

$$r_2 = r_1 - 5 \cdot d = 300 - 5 \cdot 20 = 200 \text{ mm}$$

$$n_1 \leq \frac{2 \cdot \pi \cdot r_1}{6 \cdot d} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 300}{6 \cdot 20} = 15,7$$

$$n_1 = 15$$

$$n_2 \leq \frac{2 \cdot \pi \cdot r_2}{6 \cdot d} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 200}{6 \cdot 20} = 10,5$$

$$n_2 = 10$$

pozn. spoj bude tvořen kolíky, pouze v krajní řadě bude 5 svorníků

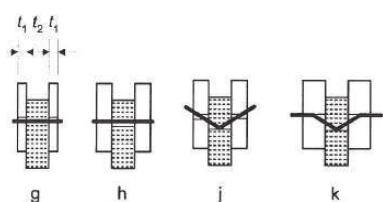
$$F_{N,c} = \frac{N_d}{n_1 + n_2} \quad F_{V,c} = \frac{V_{z,d}}{n_1 + n_2} \quad F_{M,c} = \frac{r_1}{n_1 \cdot r_1^2 + n_2 \cdot r_2^2} \cdot M_{y,d}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{(F_{M,c} + F_{V,c})^2 + F_{N,c}^2}$$

$$\alpha_1 = \text{tg}^{-1} \cdot \frac{F_{M,c} + F_{V,c}}{F_{N,c}} \quad \alpha_2 = |\alpha_1 + \alpha_z - \pi|$$

odklon střešního a stěnového žebra $\alpha_z = 94,4^\circ$

| | | střešní žebra | stěnová žebra |
|------------|----|---------------|---------------|
| $F_{N,c}$ | KN | 1,243 | 3,310 |
| $F_{V,c}$ | KN | 2,990 | 1,257 |
| $F_{M,c}$ | KN | 16,834 | 16,186 |
| $F_{v,Ed}$ | KN | 19,862 | 17,754 |
| α_1 | ° | 86,4 | 79,3 |
| α_2 | ° | 0,78 | 6,37 |



$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 600 \cdot 20^{2,6} = 434\,461 \text{ Nmm}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 380$$

$$f_{h,0,k} = 24,928 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 20 = 1,65$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad \beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$$

| | | | |
|-------|---------------|----------------------------------|----------------------------------|
| pozn. | střešní žebra | $\alpha_2 \rightarrow f_{h,1,k}$ | $\alpha_1 \rightarrow f_{h,2,k}$ |
| | stěnová žebra | $\alpha_1 \rightarrow f_{h,1,k}$ | $\alpha_2 \rightarrow f_{h,2,k}$ |

únosnost pro spojovací prostředky dvojstřížně namáhané

$$F_{v,Rk}' = \begin{cases} \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d} \\ 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{cases}$$

$$F_{v,Rd}' = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}'}{\gamma_m}$$

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd}' \cdot n_s \quad \text{počet stříhových rovin} \quad n_s = 2$$

$$F_{v,ed} \leq F_{v,Rd}$$

| | | střešní žebra | stěnová žebra |
|-------------|-----|---------------|---------------|
| $f_{h,1,k}$ | MPa | 24,925 | 15,318 |
| $f_{h,2,k}$ | MPa | 15,131 | 24,730 |
| β | | 0,607 | 1,61 |
| $F_{v,Rk}'$ | (g) | 39,880 | 24,508 |
| | (h) | 24,210 | 39,568 |
| | (j) | 15,557 | 13,356 |
| | (k) | 20,804 | 20,851 |
| $F_{v,Rd}'$ | KN | 10,770 | 9,246 |
| $F_{v,Rd}$ | KN | 21,540 | 18,493 |
| $F_{v,ed}$ | KN | 19,862 | 17,754 |
| využití | | 92 % | 96 % |
| | | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

3.1.2.1 SMYK

$$V_M = \left[\frac{M_{y,d}}{\pi} \cdot \frac{n_1 \cdot r_1 + n_2 \cdot r_2}{n_1 \cdot r_1^2 + n_2 \cdot r_2^2} \right] \quad F_{V,d} = V_M - \frac{V_{z,d}}{2}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_{V,d}}{t \cdot h} \quad \tau_{v,d} \leq f_{v,d}$$

| | | střešní žebra | stěnová žebra |
|--------------|-----|---------------|---------------|
| V_M | KN | 116,097 | 111,629 |
| $F_{V,d}$ | KN | 78,724 | 95,919 |
| $f_{v,d}$ | MPa | 1,87 | 1,87 |
| $\tau_{v,d}$ | MPa | 0,971 | 1,18 |
| využití | | 52 % | 63 % |
| | | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

3.1.2.2 TORZNÍ TUHOST SPOJE

$$K_{ser}' = \rho_m^{1,5} \cdot d / 23 = 380^{1,5} \cdot 20 / 23 = 6\,441 \text{ N/mm}$$

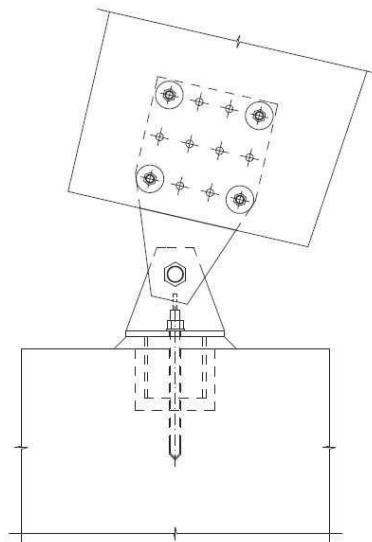
$$K_{ser} = K_{ser}' \cdot (n_1 \cdot r_1^2 + n_2 \cdot r_2^2) = 6\,441 \cdot (15 \cdot 300^2 + 10 \cdot 200^2)$$

$$K_{ser} = 1,13 \cdot 10^{10} \text{ N} \cdot \text{mm} / \text{rad}$$

pozn. torzní tuhost spoje bude použita pro výpočet průhybu
v provozním stavu

3.2 KOTVENÍ ŽEBRA HALY

spoj je tvořen plechem vsazeným do žebra a zajištěným svorníky a kolíky a v dolní části je osazen na dvojici plechů pomocí čepu, dvojice plechů je osazena na patní plech kotvený do základového pasu pomocí kotevních šroubů



3.2.1 VNITŘNÍ SÍLY

| | |
|---|------------------------------------|
| maximální tlak (žebro C02, KV11) | $N_d = -121,132 \text{ KN}$ |
| odp. | $V_{y,d} = -0,518 \text{ KN}$ |
| odp. | $V_{z,d} = -21,174 \text{ KN}$ |
| maximální posouvající síla (žebro C02, KV11) | odp. $N_d = -121,132 \text{ KN}$ |
| | odp. $V_{y,d} = -0,518 \text{ KN}$ |
| | $V_{z,d} = -21,174 \text{ KN}$ |

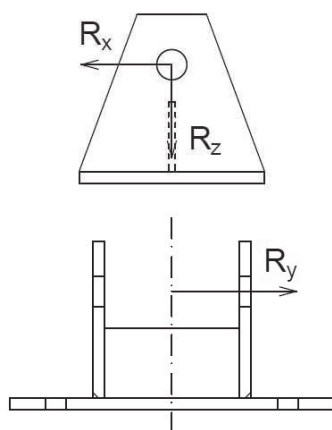
3.2.2 REAKCE

| | |
|---|---------------------------------|
| maximální tlak (žebro C02, KV11) | $R_z = 110,778 \text{ KN}$ |
| odp. | $R_x = 53,381 \text{ KN}$ |
| odp. | $R_y = -0,518 \text{ KN}$ |
| maximální posouvající síla (žebro C02, KV11) | odp. $R_z = 110,778 \text{ KN}$ |
| | $R_x = 53,381 \text{ KN}$ |
| | odp. $R_y = -0,518 \text{ KN}$ |

3.2.3 ČEPOVÝ SPOJ

3.2.3.1 GEOMETRIE

| | | |
|-----------|---------------------|------------------------|
| čep | průměr | $d = 24 \text{ mm}$ |
| (svorník) | průměr otvoru | $d_0 = 26 \text{ mm}$ |
| | plocha dříku šroubu | $A = 452 \text{ mm}^2$ |



3.2.3.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------------------------------|--------------|---|
| plechy | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |
| čep (svorník) | ocel | 8.8 |
| | mez kluzu | $f_{yp} = 640 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_{up} = 800 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ $\gamma_{m2} = 1,25$ |

3.2.3.3 NÁVRH PLECHU

pozn. posouzení konců plechu je vztaženo k maximální tahové síle
 >> ta však v uložení nevzniká, proto je návrh proveden dle konstrukčních zásad

$$e_1 = e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 26 = 31,2 \text{ mm}$$

$$\text{volím} \quad t_h = 10 \text{ mm} \quad t_d = 10 \text{ mm} \quad a = c = 30 \text{ mm}$$

3.2.3.4 ÚNOSNOST VE STŘIHU

pozn. posouzení čepu je vztaženo k celkové maximální síle
 maximální síla bude přenášena dvojicí plechů

$$\text{počet stříhových rovin} \quad n_s = 2$$

$$F_{v,Rd} = n_s \cdot \frac{0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 452 \cdot 800}{1,25} = 347,136 \text{ KN}$$

$$F_{Ed} = F_{v,Ed} = F_{b,Ed} = \frac{\sqrt{N_d^2 + V_{z,d}^2}}{2} = \frac{\sqrt{(-121,132)^2 + (-21,174)^2}}{2}$$

$$F_{Ed} = F_{v,Ed} = F_{b,Ed} = 61,484 \text{ KN}$$

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$61,484 < 347,136$$

VYHOVÍ (využití 18 %)

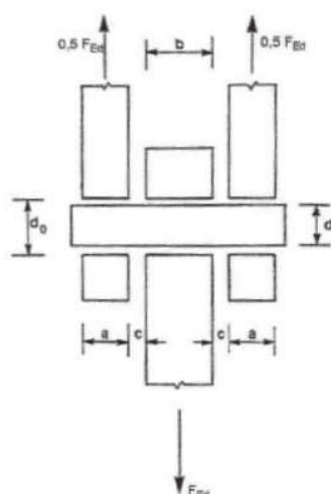
3.2.3.5 ÚNOSNOST PLECHU A ČEPU V OTLAČENÍ

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 10 \cdot 24 \cdot 235}{1,00} = 84,600 \text{ KN}$$

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$61,484 < 84,600$$

VYHOVÍ (využití 73 %)



$$\begin{aligned} a &= t_h = 10 \text{ mm} \\ b &= t_d = 10 \text{ mm} \\ c &= 2 \text{ mm} \end{aligned}$$

3.2.3.6 ÚNOSNOST ČEPU V OHYBU

pozn. vzhledem k jiné geometrii nutná úprava normového vzorce

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{4} \cdot (b + 4 \cdot c + 2 \cdot a) = \frac{61,484 \cdot 10^3}{4} \cdot (10 + 4 \cdot 2 + 2 \cdot 10)$$

$$M_{Ed} = 0,584 \text{ KNm}$$

$$I_y = \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot d^4 = \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot 24^4 = 1,63 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_y = W_{el} = \frac{I_y}{(d/2)} = \frac{1,63 \cdot 10^4}{(24/2)} = 1,36 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 1,36 \cdot 10^3 \cdot 640}{1,00} = 1,306 \text{ KNm}$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$0,584 < 1,306$$

VYHOVÍ (využití 45 %)

3.2.3.7 ÚNOSNOST ČEPU PŘI KOMBINACI STŘIHU A OHYBU

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1$$

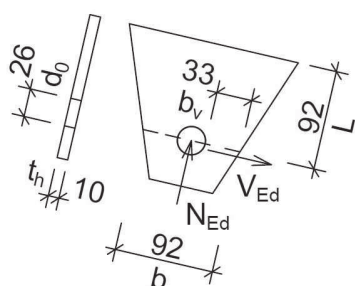
$$\left[\frac{0,584}{1,306} \right]^2 + \left[\frac{61,484}{347,136} \right]^2 \leq 1$$

$$0,231 < 1$$

VYHOVÍ (využití 23 %)

3.2.4 HORNÍ PLECHY

3.2.4.1 GEOMETRIE



tloušťka $t_h = 10 \text{ mm}$

šířka v místě otvoru $b = 92 \text{ mm}$

oslabená šířka $b_{net} = b - d_0 = 66 \text{ mm}$

šířka účinná ve smyku $b_v = b_{net} / 2 = 33 \text{ mm}$

plocha $A = b \cdot t_h = 920 \text{ mm}^2$

smyková plocha $A_v = b_v \cdot t_h = 330 \text{ mm}^2$

poloměr setrvačnosti $i = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot t_h^2} = 2,89 \text{ mm}$

délka $L = 92 \text{ mm}$

konzola $\beta = 2,0$

kritická délka $L_{cr} = L \cdot \beta = 92 \cdot 2,0 = 184 \text{ mm}$

3.2.4.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|--------|--------------|-------------------------|
| plechy | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$
 $\gamma_{m2} = 1,25$

3.2.4.3 VZPĚŘ

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{184}{2,89} = 63,7$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{63,7}{93,9} = 0,678$$

křivka vzpěrné pevnosti "c" $\gg \alpha = 0,49$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (0,678 - 0,2) + 0,678^2) = 0,847$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,847 + \sqrt{0,847^2 - 0,678^2}} = 0,738$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,738 \cdot 920 \cdot 235}{1,0} = 159,556 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} = |\min N_d|/2 = 60,566 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

$$60,566 < 159,556$$

VYHOVÍ (využití 38 %)

3.2.4.4 SMYK

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{330 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 44,774 \text{ KN}$$

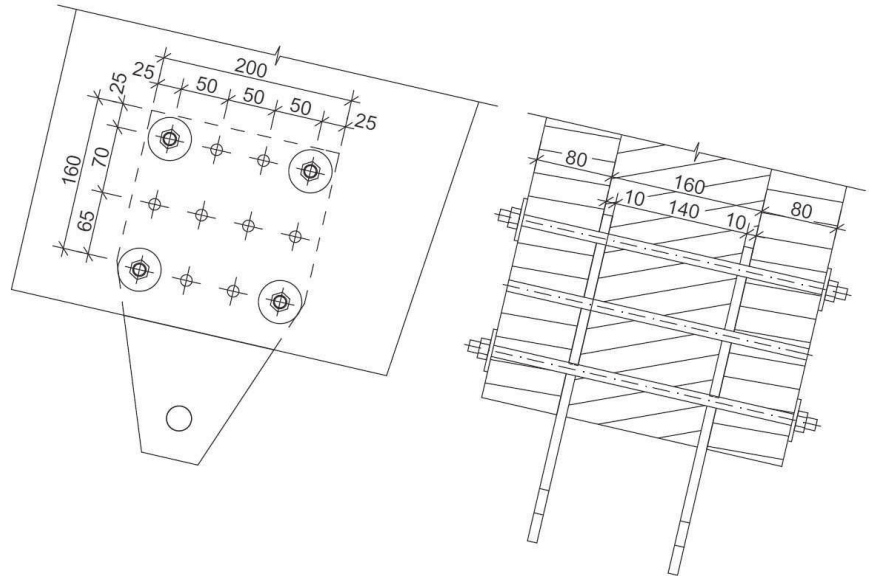
$$V_{Ed} = \max |V_{z,d}|/2 = 10,587 \text{ KN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$10,587 < 44,774$$

VYHOVÍ (využití 24 %)

3.2.5 PLECHY OSAZENÉ NA ŽEBRO

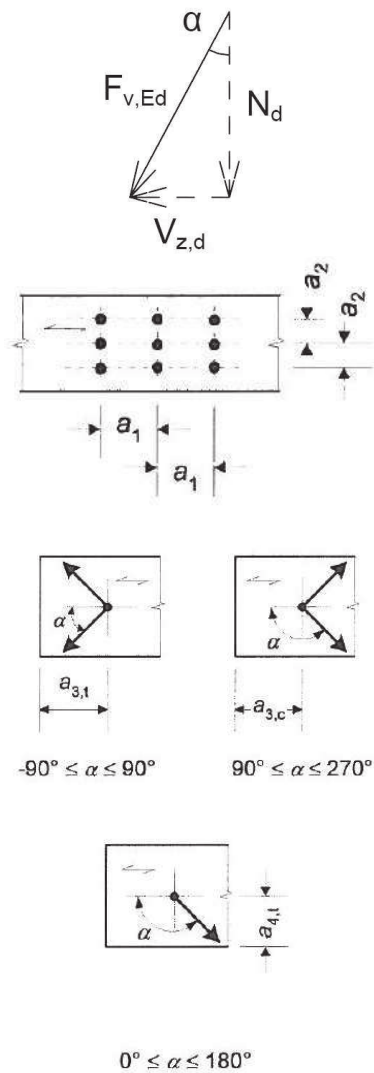


3.2.5.1 GEOMETRIE

| | | |
|---------|-------------|---------------------------|
| LLD | tloušťka | $b = t_1 = 80 \text{ mm}$ |
| plech | tloušťka | $t_h = 10 \text{ mm}$ |
| svorník | průměr | $d_s = 12 \text{ mm}$ |
| | počet | $n_s = 4$ |
| kolík | průměr | $d_k = 12 \text{ mm}$ |
| | počet | $n_k = 8$ |
| | počet spojů | $s = 2$ |

3.2.5.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| LLD | dřevo | $GL24h$ |
| | třída provozu | 2 |
| | třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| | hodnota k_{mod} | $k_{mod} = 0,90$ |
| | hustota | $\rho = 380 \text{ kg/m}^3$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | | $\gamma_m = 1,3 \text{ (pro spoje)}$ |
| svorník | ocel | 4.8 |
| | mez kluzu | $f_{y,k} = 320 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_{u,k} = 400 \text{ MPa}$ |
| kolík | ocel | E335 |
| | mez kluzu | $f_{y,k} = 300 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_{u,k} = 600 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ |
| | | $\gamma_{m2} = 1,25$ |



3.2.5.3 PEVNOST V OTLAČENÍ DŘEVA

$$F_{v,Ed} = \frac{\sqrt{N_d^2 + V_{z,d}^2}}{s} \quad \alpha = \operatorname{tg}^{-1} \cdot \frac{V_{z,d}}{N_d}$$

$$a_1 = (4 + |\cos \alpha|) \cdot d$$

$$a_2 = 4 \cdot d$$

$$a_{3,t} = \max(7 \cdot d; 80 \text{ mm})$$

$$a_{3,c} = 4 \cdot d$$

$$a_{4,t} = \max[(2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d]$$

$$a_{4,c} = 3 \cdot d$$

| | | maximální tlak | maximální posouvající síla |
|------------|----|----------------|----------------------------|
| $F_{v,Ed}$ | KN | 61,484 | |
| α | ° | 9,92 | |
| a_1 | mm | 59,8 | |
| a_2 | mm | 48,0 | |
| $a_{3,t}$ | mm | 84,0 | |
| $a_{3,c}$ | mm | 48,0 | |
| $a_{4,t}$ | mm | 36,0 | |
| $a_{4,c}$ | mm | 36,0 | |

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot \min f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 12^{2,6} = 76\,745 \text{ Nmm}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 380$$

$$f_{h,0,k} = 27,421 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 12 = 1,53$$

$$f_{h,1,k} = f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$\text{počet stříhových rovin} \quad n_s = 1$$

$$\text{počet řad svorníků a kolíků} \quad p = 4$$

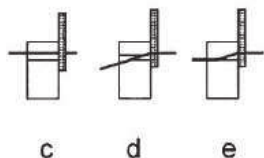
účinný počet svorníků a kolíků v jedné řadě rovnoběžné s vlákny

$$n_{ef} = \min \left\{ \frac{n}{n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}}} = \min \left\{ 3^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{70}{13 \cdot 12}} = \min \left\{ \begin{matrix} 3 \\ 2,20 \end{matrix} \right. \right.$$

$$n_{ef} = 2,20$$

$$t_h > 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 12 = 6 \text{ mm}$$

$$10 \text{ mm} > 6 \text{ mm} \gg \text{tlustá deska}$$



pevnost tlusté ocelové desky jednostřížného spoje

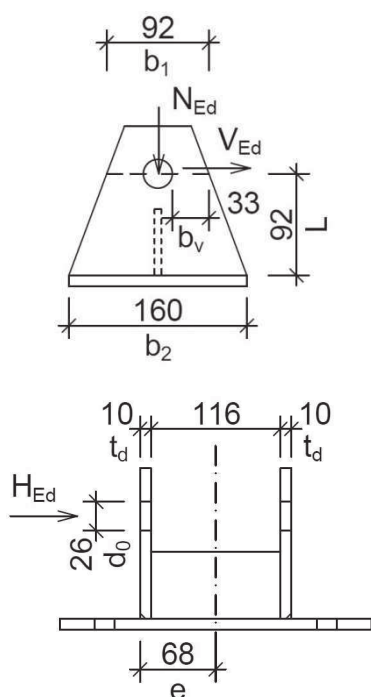
$$F_{v,Rk}' = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d}{f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d}} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rd}' = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}'}{\gamma_m}$$

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd}' \cdot n_s \cdot p \cdot n_{ef}$$

$$F_{v,ed} \leq F_{v,Rd}$$

| | | maximální tlak | maximální tah a posouvající síla |
|-------------|-------|----------------|-------------------------------------|
| $f_{h,k}$ | MPa | 26,997 | |
| $F_{v,Rk}'$ | (c) | 12,068 | |
| | (d) | 11,468 | |
| | (e) | 25,917 | |
| $F_{v,Rd}'$ | KN | 7,939 | |
| $F_{v,Rd}$ | KN | 69,863 | |
| $F_{v,ed}$ | KN | 61,484 | |
| využití | | 88 % | |
| | | VYHOVÍ | |



3.2.6 DOLNÍ PLECHY

3.2.6.1 GEOMETRIE

| | |
|----------------------------|---|
| tloušťka | $t_d = 10 \text{ mm}$ |
| šířka v místě otvoru | $b_1 = 92 \text{ mm}$ |
| šířka v patě | $b_2 = 160 \text{ mm}$ |
| oslabená šířka | $b_{net} = b_1 - d_0 = 66 \text{ mm}$ |
| šířka účinná ve smyku | $b_v = b_{net} / 2 = 33 \text{ mm}$ |
| vzdálenost krajních vláken | $e = 68 \text{ mm}$ |
| vzdálenost těžišť | $e_1 = 63 \text{ mm}$ |
| plocha | $A = b_1 \cdot t_d = 920 \text{ mm}^2$ |
| smyková plocha | $A_v = b_v \cdot t_d = 330 \text{ mm}^2$ |
| moment setrvačnosti | $I_z = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot b_2 \cdot t_d^3 + b_2 \cdot t_d \cdot e_1^2 \right)$ |
| | $I_z = 1,27 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$ |
| modul průřezu | $W_z = I_z / e = 1,87 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ |

| | |
|----------------------|--|
| poloměr setrvačnosti | $i = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot t_d^2} = 2,89 \text{ mm}$ |
| délka | $L = 92 \text{ mm}$ |
| konzola | $\beta = 2,0$ |
| kritická délka | $L_{cr} = L \cdot \beta = 92 \cdot 2,0 = 184 \text{ mm}$ |

3.2.6.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| plechy | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ | $\gamma_{m2} = 1,25$ |
| součinitel korelace | $\beta_w = 0,8$ | |

3.2.6.3 VZPĚŘ

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{184}{2,89} = 63,7$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{63,7}{93,9} = 0,678$$

$$\text{křivka vzpěrné pevnosti "c" } \gg \alpha = 0,49$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (0,678 - 0,2) + 0,678^2) = 0,847$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,847 + \sqrt{0,847^2 - 0,678^2}} = 0,738$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,738 \cdot 920 \cdot 235}{1,0} = 159,556 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = \max R_z / 2 = 55,389 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

$$55,389 < 159,556$$

VYHOVÍ (využití 34 %)

3.2.6.4 SMYK

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{330 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 44,774 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \max |R_x| / 2 = 26,691 \text{ KN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$26,691 < 44,774$$

VYHOVÍ (využití 60 %)

>> návrhová hodnota smykové síly je větší než 50 % návrhové plastické smykové únosnosti

>> nutná redukce meze kluzu pro kombinaci ohybu a osově síly

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 26,691}{44,774} - 1 \right)^2 = 0,037$$

$$(1 - \rho) \cdot f_y = (1 - 0,037) \cdot 235 = 226 \text{ MPa}$$

>> vzhledem k relativně malému snížení meze kluzu a skutečnosti, že posouzení vzpěrné únosnosti je rozhodující vzhledem ke kombinaci ohybu a osově síly průřez již dále neposuzují

3.2.6.5 OHYB

$$M_{c,Rd} = \frac{W_z \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,87 \cdot 10^5 \cdot 235}{1,0} = 43,945 \text{ KNm}$$

$$H_{Ed} = \max |R_y| = 0,518 \text{ KN}$$

$$M_{Ed} = H_{Ed} \cdot L = 0,518 \cdot 10^3 \cdot 92 = 0,048 \text{ KNm}$$

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$0,048 \leq 43,945$$

VYHOVÍ (využití 1 %)

3.2.6.6 SVARY

$$\text{nominální výška svaru} \quad a_{nom} = 5 \text{ mm}$$

$$\text{účinná výška svaru} \quad a = a_{nom} - 2 = 3 \text{ mm}$$

$$\text{počet svarů} \quad n = 2$$

$$\text{účinná délka svaru} \quad l_{eff} = b_2 - 2 \cdot a = 160 - 2 \cdot 3 = 154 \text{ mm}$$

$$\text{účinná plocha svaru} \quad A_w = n \cdot a \cdot l_{eff} = 924 \text{ mm}^2$$

$$N_{sd} = odp |R_z| = 0 \text{ KN} \quad \gg \quad \text{tlaková reakce, přenesena se plechy}$$

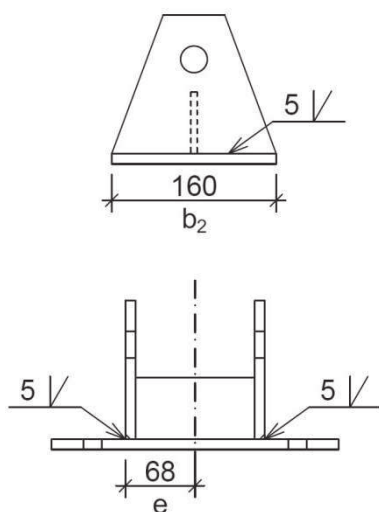
$$V_{sd,y} = odp |R_y| = 0,518 \text{ KN}$$

$$V_{sd,z} = odp |R_x| = 53,381 \text{ KN}$$

$$M_{sd,y} = V_{sd,z} \cdot L = 53,381 \cdot 10^3 \cdot 92 = 4,911 \text{ KNm}$$

$$M_{sd,z} = V_{sd,y} \cdot L = 0,518 \cdot 10^3 \cdot 92 = 0,048 \text{ KNm}$$

$$z_y = e - a_{nom} = 68 - 5 = 63 \text{ mm}$$



$$z_z = \frac{b_2}{2} = \frac{160}{2} = 80 \text{ mm}$$

$$I_{w,y} = n \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot a \cdot l_{eff}^3 \right)$$

$$I_{w,y} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 154^3 \right) = 1,83 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{w,z} = n \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot l_{eff} \cdot a^3 + l_{eff} \cdot a \cdot z_y^2 \right)$$

$$I_{w,z} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 154 \cdot 3^3 + 154 \cdot 3 \cdot 63^2 \right) = 3,67 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{sd,z}}{A_w} = \frac{53,381 \cdot 10^3}{924} = 57,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,1} = \tau_{\perp,1} = \frac{V_{sd,y}}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{0,518 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 924} = 0,396 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,2} = \tau_{\perp,2} = \frac{M_{sd,y} \cdot z_z}{\sqrt{2} \cdot I_{w,y}} = \frac{4,911 \cdot 10^6 \cdot 80}{\sqrt{2} \cdot 1,83 \cdot 10^6} = 152 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,3} = \tau_{\perp,3} = \frac{M_{sd,z} \cdot z_y}{\sqrt{2} \cdot I_{w,z}} = \frac{0,048 \cdot 10^6 \cdot 63}{\sqrt{2} \cdot 3,67 \cdot 10^6} = 0,583 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0,396 + 152 + 0,583 = 153 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{153^2 + 3 \cdot 153^2 + 3 \cdot 57,8^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

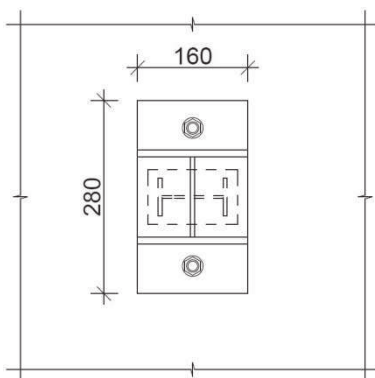
$$322 < 360$$

VYHOVÍ (využití 89 %)

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25}$$

$$153 < 259$$

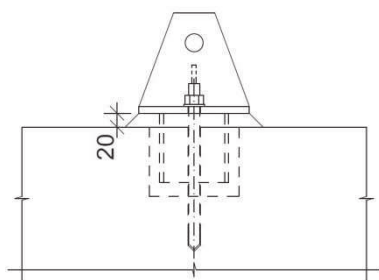
VYHOVÍ (využití 59 %)



3.2.7 PATNÍ DESKA

3.2.7.1 GEOMETRIE

| | |
|-----------------------|---------------------------|
| tloušťka patní desky | $t = 10 \text{ mm}$ |
| tloušťka podlití | $t_{pod} = 20 \text{ mm}$ |
| šířka patní desky | $a = 280 \text{ mm}$ |
| délka patní desky | $b = 160 \text{ mm}$ |
| šířka základové patky | $a_c = 1\,000 \text{ mm}$ |
| délka základové patky | $b_c = 2\,000 \text{ mm}$ |



| | |
|----------------------------|--------------------------------|
| výška základové patky | $h_c = 1\,500\text{ mm}$ |
| vzdálenost desky od okrajů | $a_r = 360\text{ mm}$ |
| | $b_r = 920\text{ mm}$ |
| šířka dolních plechů | $a_{pd} = t_d = 10\text{ mm}$ |
| délka dolních plechů | $b_{pd} = b_2 = 160\text{ mm}$ |

3.2.7.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------|--------------|------------------------|
| patní deska | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235\text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360\text{ MPa}$ |

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{m0} = 1,0$

| | | |
|-------|-----------------|--------------------------|
| beton | beton | C20/25 |
| | pevnost v tlaku | $f_{ck} = 20\text{ MPa}$ |

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{mc} = 1,5$

3.2.7.3 ÚNOSNOST V TLAKU

$$a_1 = \min \begin{cases} \frac{a + 2 \cdot a_r}{5 \cdot a} \\ \frac{a + h}{5 \cdot b_1} \end{cases} = \min \begin{cases} \frac{280 + 2 \cdot 360}{5 \cdot 280} \\ \frac{280 + 1\,500}{5 \cdot 800} \end{cases} = 1\,000\text{ mm}$$

$$b_1 = \min \begin{cases} \frac{b + 2 \cdot b_r}{5 \cdot b} \\ \frac{b + h}{5 \cdot a_1} \end{cases} = \min \begin{cases} \frac{160 + 2 \cdot 920}{5 \cdot 160} \\ \frac{160 + 1\,500}{5 \cdot 1\,000} \end{cases} = 800\text{ mm}$$

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{1\,000 \cdot 800}{280 \cdot 160}} = 4,23$$

$$f_j = \frac{\beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_{mc}} = \frac{0,67 \cdot 4,23 \cdot 20}{1,5} = 37,8\text{ MPa}$$

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot \gamma_{m0} \cdot f_j}} = 10 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 1,0 \cdot 37,8}} = 14,4\text{ mm}$$

$$A_{eff} = 2 \cdot (a_{pd} + 2 \cdot c) \cdot b_{pd} = 2 \cdot (10 + 2 \cdot 14,4) \cdot 160$$

$$A_{eff} = 12\,416\text{ mm}^2$$

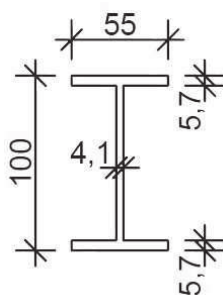
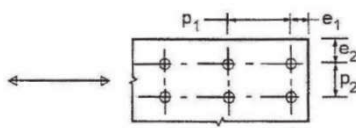
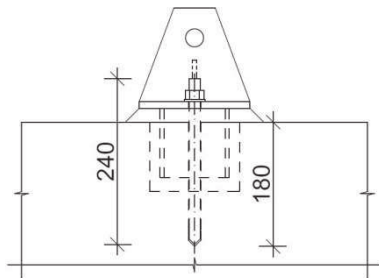
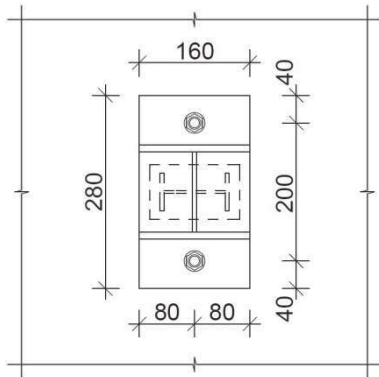
$$F_{Rd,c} = A_{eff} \cdot f_j = 12\,416 \cdot 37,8 = 469,325\text{ KN}$$

$$F_{Ed} = \max R_z = 110,778\text{ KN}$$

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,c}$$

$$110,778 \leq 469,325$$

VYHOVÍ (využití 24 %)



3.2.8 KOTEVNÍ ŠROUBY

pozn. posouzení kotevních šroubů je vztaženo k maximální tahové síle

>> ta však v uložení nevzniká, proto je návrh proveden dle konstrukčních zásad

3.2.8.1 GEOMETRIE

HIT-Z M16 x 240

| | | |
|-------|---------------------|--------------------------|
| šroub | průměr | $d = 16 \text{ mm}$ |
| | průměr otvoru | $d_0 = 18 \text{ mm}$ |
| | průměr hlavy šroubu | $d_m = 25,9 \text{ mm}$ |
| | plocha jádra | $A_s = 157 \text{ mm}^2$ |
| | hloubka otvoru | $h_o = 180 \text{ mm}$ |
| | tloušťka podložky | $t_p = 3 \text{ mm}$ |
| | počet | $n = 2$ |

3.2.8.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|--------|--------------|----------------------------|
| šroub | ocel | 6.8 |
| | mez kluzu | $f_{yb} = 480 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_{ub} = 600 \text{ MPa}$ |
| plechy | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$
 $\gamma_{m2} = 1,25$

3.2.8.3 ROZTEČE V PATNÍM PLECHU

$$e_1 = e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 18 = 43,2 \text{ mm}$$

volím $e_1 = 80 \text{ mm}$ $e_2 = 40 \text{ mm}$ $p_2 = 200 \text{ mm}$

3.2.9 SMYKOVÁ ZARÁŽKA

3.2.9.1 GEOMETRIE

| | | |
|---------|------------------|------------------------|
| IPE 100 | šířka profilu | $b = 55 \text{ mm}$ |
| | výška profilu | $h = 100 \text{ mm}$ |
| | tloušťka pásnice | $t_f = 5,7 \text{ mm}$ |
| | tloušťka stojiny | $t_w = 4,1 \text{ mm}$ |

3.2.9.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

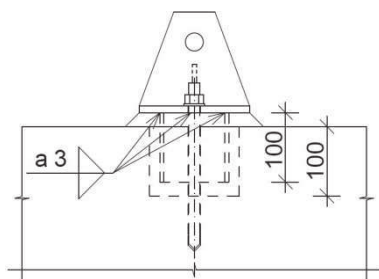
| | | |
|-------------------------------------|-----------------|---|
| IPE 100 | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ $\gamma_{m2} = 1,25$ |
| součinitel korelace | | $\beta_w = 0,8$ |
| beton | beton | C20/25 |
| | pevnost v tlaku | $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | | $\gamma_{mc} = 1,5$ |

3.2.9.3 NÁVRH VÝŠKY

$$V_{sd,z} = \max |R_x| = 53,381 \text{ KN}$$

$$l_{\min} = \frac{V_{sd,z}}{b \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{mc}}} + t_{pod} = \frac{53,381 \cdot 10^3}{55 \cdot \frac{20}{1,5}} + 20 = 92,8 \text{ mm}$$

$$\text{volím } l = 100 \text{ mm}$$



3.2.9.4 SVARY

| | |
|-----------------------------|--|
| účinná výška svaru | $a = 3 \text{ mm}$ |
| počet svarů | $n = 2$ |
| účinná délka svaru stojiny | $l_{eff,1} = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot a$ $l_{eff,1} = 100 - 2 \cdot 5,7 - 2 \cdot 3 = 82,6 \text{ mm}$ |
| účinná délka svarů pásnic | $l_{eff,2} = b - t_w = 55 - 4,1 = 50,9 \text{ mm}$ $l_{eff,3} = b = 55 \text{ mm}$ |
| účinná plocha svaru stojiny | $A_{w,z} = n \cdot a \cdot l_{eff,1} = 496 \text{ mm}^2$ |
| účinná plocha svaru pásnice | $A_{w,y} = n \cdot a \cdot (l_{eff,2} + l_{eff,3}) = 635 \text{ mm}^2$ |
| účinná plocha svarů | $A_w = A_{w,z} + A_{w,y} = 1131 \text{ mm}^2$ |

$$V_{sd,y} = \text{odp } |R_y| = 0,518 \text{ KN}$$

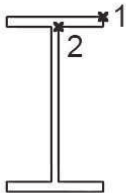
$$M_{sd,y} = V_{sd,z} \cdot \left(\frac{l - t_{pod}}{2} + t_{pod} \right) = 53,381 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{100 - 20}{2} + 20 \right)$$

$$M_{sd,y} = 3,203 \text{ KNm}$$

$$M_{sd,z} = V_{sd,y} \cdot \left(\frac{l - t_{pod}}{2} + t_{pod} \right) = 0,518 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{100 - 20}{2} + 20 \right)$$

$$M_{sd,z} = 0,031 \text{ KNm}$$

$$z_{y,1} = \frac{b}{2} = \frac{55}{2} = 27,5 \text{ mm}$$



$$z_{y,2} = \frac{t_w}{2} = \frac{4,1}{2} = 2,05 \text{ mm}$$

$$z_{z,1} = \frac{h}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ mm}$$

$$z_{z,2} = z_{z,1} - t_f = 50 - 5,7 = 44,3 \text{ mm}$$

$$I_{w,y} = n \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot a \cdot l_{eff,1}^3 + \frac{1}{12} \cdot l_{eff,2} \cdot a^3 + l_{eff,2} \cdot a \cdot z_{z,2}^2 + \frac{1}{12} \cdot l_{eff,3} \cdot a^3 + l_{eff,3} \cdot a \cdot z_{z,1}^2 \right)$$

$$I_{w,y} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 82,6^3 + \frac{1}{12} \cdot 50,9 \cdot 3^3 + 50,9 \cdot 3 \cdot 44,3^2 + \frac{1}{12} \cdot 55 \cdot 3^3 + 55 \cdot 3 \cdot 50^2 \right)$$

$$I_{w,y} = 1,71 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{w,z} = n \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot l_{eff,1} \cdot a^3 + l_{eff,1} \cdot a \cdot z_{y,2}^2 + \frac{1}{12} \cdot a \cdot l_{eff,2}^3 + \frac{1}{12} \cdot a \cdot l_{eff,3}^3 \right)$$

$$I_{w,z} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 82,6 \cdot 3^3 + 82,6 \cdot 3 \cdot 2,05^2 + \frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 50,9^3 + \frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 55^3 \right)$$

$$I_{w,z} = 1,52 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

BOD 1

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{sd,y}}{A_{w,y}} = \frac{0,518 \cdot 10^3}{635} = 0,812 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,1} = \tau_{\perp,1} = \frac{M_{sd,y} \cdot z_{z,1}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,y}} = \frac{3,203 \cdot 10^6 \cdot 50}{\sqrt{2} \cdot 1,71 \cdot 10^6} = 66,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,2} = \tau_{\perp,2} = \frac{M_{sd,z} \cdot z_{y,1}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,z}} = \frac{0,031 \cdot 10^6 \cdot 27,5}{\sqrt{2} \cdot 1,52 \cdot 10^5} = 3,97 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 66,2 + 3,97 = 70,2 \text{ MPa}$$

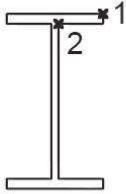
POSOUZENÍ

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{70,2^2 + 3 \cdot 70,2^2 + 3 \cdot 0,812^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$140 < 360$$

VYHOVÍ (využití 39 %)



$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25}$$

$$70,2 < 259$$

VYHOVÍ (využití 27 %)

BOD 2

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{sd,z}}{A_{w,z}} = \frac{53,381 \cdot 10^3}{496} = 108 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,1} = \tau_{\perp,1} = \frac{M_{sd,y} \cdot z_{z,2}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,y}} = \frac{3,203 \cdot 10^6 \cdot 44,3}{\sqrt{2} \cdot 1,71 \cdot 10^6} = 58,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,2} = \tau_{\perp,2} = \frac{M_{sd,z} \cdot z_{y,2}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,z}} = \frac{0,031 \cdot 10^6 \cdot 2,05}{\sqrt{2} \cdot 1,52 \cdot 10^5} = 0,296 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 58,7 + 0,296 = 59,0 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{59,0^2 + 3 \cdot 59,0^2 + 3 \cdot 108^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$221 < 360$$

VYHOVÍ (využití 61 %)

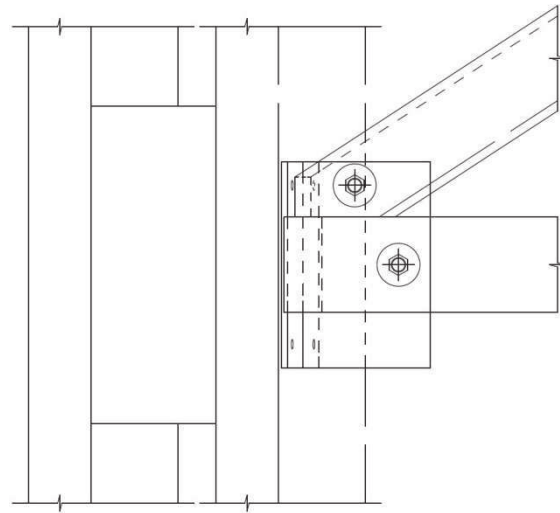
$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25}$$

$$59,0 < 259$$

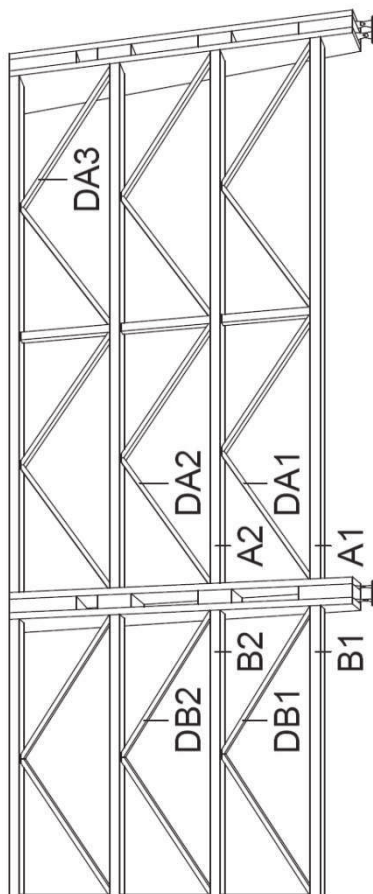
VYHOVÍ (využití 23 %)

3.3 ULOŽENÍ STĚNOVÉ VAZNICE NA ŽEBRO

spoj je tvořen plechem vsazeným do vaznice a diagonály a zajištěným svorníky, plech je osazen na styčnickový plech připevněný na žebro pomocí svorníků



3.3.1 VNITŘNÍ SÍLY



| | | |
|--|--------------------|--|
| maximální tah ve vaznici (KV11) | vaznice B2 | $N_{d,1} = 29,069 \text{ KN}$ |
| | odp. | $V_{y,d,1} = -1,025 \text{ KN}$ |
| | odp. | $V_{z,d,1} = -0,388 \text{ KN}$ |
| | diagonála DB2 odp. | $F_{d,diag,1} = -9,774 \text{ KN}$ $\alpha_{diag,1} = 34,0^\circ$ $N_{d,diag,1} = -8,103 \text{ KN}$ $V_{y,d,diag,1} = -5,466 \text{ KN}$ |
| | vaznice A2 | odp. $N_{d,2} = 26,622 \text{ KN}$ |
| | odp. | $V_{y,d,2} = 1,032 \text{ KN}$ |
| | odp. | $V_{z,d,2} = 0,388 \text{ KN}$ |
| | diagonála DA2 odp. | $F_{d,diag,2} = -6,621 \text{ KN}$ $\alpha_{diag,2} = 34,0^\circ$ $N_{d,diag,2} = -5,489 \text{ KN}$ $V_{y,d,diag,2} = 3,702 \text{ KN}$ |
| maximální posouvající síla Vz (KV14) | vaznice B2 | $N_{d,1} = 1,720 \text{ KN}$ |
| | odp. | $V_{y,d,1} = -1,020 \text{ KN}$ |
| | odp. | $V_{z,d,1} = 5,846 \text{ KN}$ |
| | diagonála DB2 odp. | $F_{d,diag,1} = -7,291 \text{ KN}$ $\alpha_{diag,1} = 34,0^\circ$ $N_{d,diag,1} = -6,045 \text{ KN}$ $V_{y,d,diag,1} = -4,077 \text{ KN}$ |

| | | | |
|---|---------------|------|--|
| maximální posouvající síla V_y (KV41) | vaznice A2 | odp. | $N_{d,2} = 2,019 \text{ KN}$ |
| | | odp. | $V_{y,d,2} = 1,022 \text{ KN}$ |
| | | odp. | $V_{z,d,2} = - 5,847 \text{ KN}$ |
| | diagonála DA2 | odp. | $F_{d,diag,2} = - 7,931 \text{ KN}$ |
| | | | $\alpha_{diag,2} = 34,0^\circ$ |
| | | | $N_{d,diag,2} = - 6,575 \text{ KN}$ |
| | | | $V_{y,d,diag,2} = 4,435 \text{ KN}$ |
| | vaznice B1 | | $N_{d,1} = 1,983 \text{ KN}$ |
| | | odp. | $V_{y,d,1} = - 1,707 \text{ KN}$ |
| | | odp. | $V_{z,d,1} = - 0,632 \text{ KN}$ |
| | diagonála DB1 | odp. | $F_{d,diag,1} = - 10,343 \text{ KN}$ |
| | | | $\alpha_{diag,1} = 33,7^\circ$ |
| | | | $N_{d,diag,1} = - 8,605 \text{ KN}$ |
| | | | $V_{y,d,diag,1} = - 5,739 \text{ KN}$ |
| maximální tlak v diagonále (KV11) | vaznice A1 | odp. | $N_{d,2} = 1,688 \text{ KN}$ |
| | | odp. | $V_{y,d,2} = 1,707 \text{ KN}$ |
| | | odp. | $V_{z,d,2} = 1,400 \text{ KN}$ |
| | diagonála DA1 | odp. | $F_{d,diag,2} = - 13,662 \text{ KN}$ |
| | | | $\alpha_{diag,2} = 33,7^\circ$ |
| | | | $N_{d,diag,2} = - 11,366 \text{ KN}$ |
| | | | $V_{y,d,diag,2} = 7,580 \text{ KN}$ |
| | diagonála DA3 | odp. | $F_{d,diag,2} = - 19,366 \text{ KN}$ |
| | | | $\alpha_{diag,2} = 34,4^\circ$ |
| | | | $N_{d,diag,2} = - 15,979 \text{ KN}$ |
| | | | $V_{y,d,diag,2} = - 10,941 \text{ KN}$ |

3.3.2 IDEALIZACE KONSTRUKCE

vlivem radiálního uspořádání žeber nejde o zcela kolmý přípoj vaznic a diagonál na žebro, pro určení složek sil působících kolmo a rovnoběžně k žeburu je nutná vektorová transformace vnitřních sil od vaznic a táhel

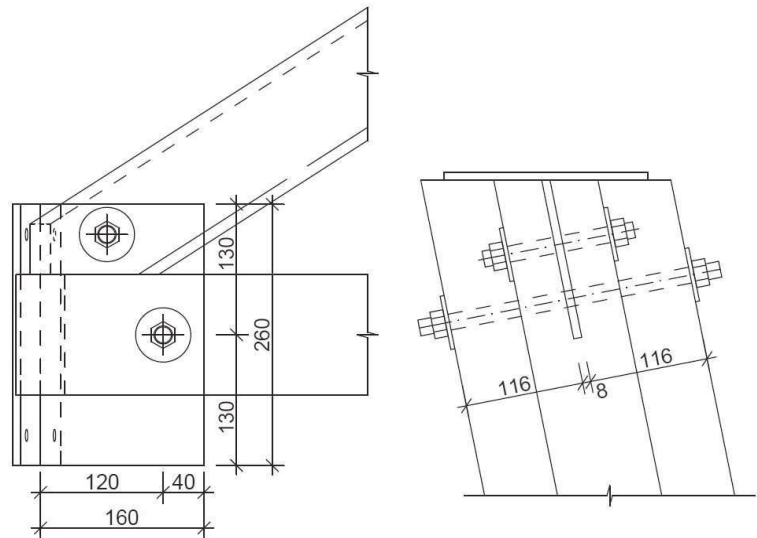
>> lze vycházet z posudku idealizace konstrukce pro uložení vaznice se ztužidly na žebro kopule >> viz 2.4.2

3.3.2.1 ZHODNOCENÍ

vzhledem k menším tahovým silám ve vaznicích a absenci táhel, které by byly hlavní příčinou navýšení posouvajících sil, lze předpokládat menší chybu při zjednodušení přípoje

ve smykových posudcích žebra bude uvažováno s minimálně 40 % rezervou únosnosti

3.3.3 PLECH VSAZENÝ DO VAZNICE

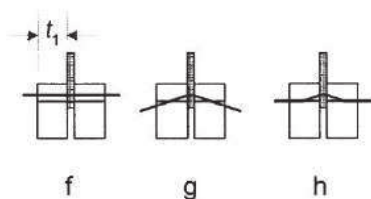
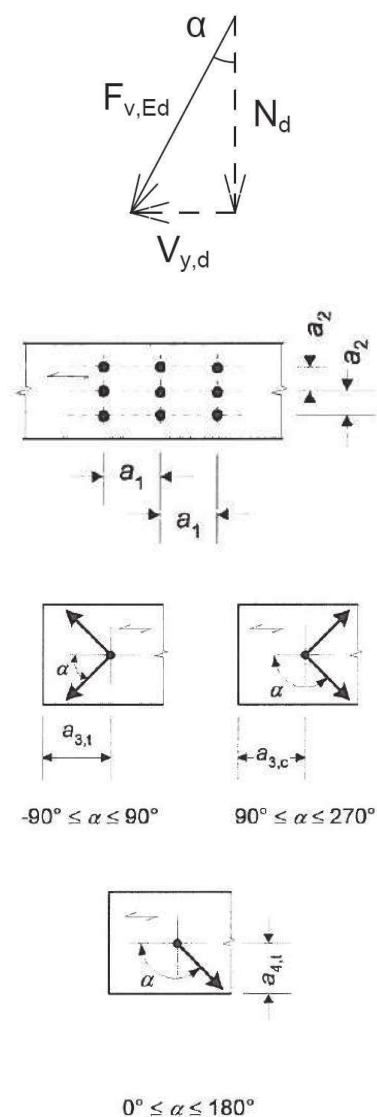


3.3.3.1 GEOMETRIE

| | | |
|---------|-------------------|--------------------------------------|
| LLD | šířka | $b = 120 \text{ mm}$ |
| | výška | $h = 240 \text{ mm}$ |
| | tloušťka ve spoji | $t_1 = (h - t) / 2 = 116 \text{ mm}$ |
| plech | tloušťka | $t = 8 \text{ mm}$ |
| | vyložení plechu | $l_p = 160 \text{ mm}$ |
| svorník | průměr | $d = 16 \text{ mm}$ |
| | počet | $n = 1$ |

3.3.3.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|--|-----------------------|--|
| LLD | dřevo | GL24h |
| | třída provozu | 2 |
| | třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| | hodnota k_{mod} | $k_{mod} = 0,90$ |
| | hustota | $\rho = 380 \text{ kg/m}^3$ |
| charakteristická pevnost ve smyku | | $f_{v,k} = 2,70 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost ve smyku | | $f_{v,d} = 1,94 \text{ MPa}$ |
| charakteristická pevnost v tlaku \perp | | $f_{c,90,k} = 2,70 \text{ MPa}$ |
| návrhová pevnost v tlaku \perp | | $f_{c,90,d} = 1,94 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | | $\gamma_m = 1,3 \text{ (pro spoje a RD)}$ $\gamma_m = 1,25 \text{ (pro LLD)}$ |
| svorník | ocel | 8.8 |
| | mez kluzu | $f_{y,k} = 640 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_{u,k} = 800 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ $\gamma_{m2} = 1,25$ |



3.3.3.1 PEVNOST V OTLAČENÍ DŘEVA

$$F_{v,Ed} = \sqrt{N_d^2 + V_{y,d}^2} \quad \alpha = \tan^{-1} \cdot \frac{V_{y,d}}{N_d}$$

$$\begin{aligned} a_1 &= (4 + |\cos \alpha|) \cdot d & a_2 &= 4 \cdot d \\ a_{3,t} &= \max(7 \cdot d; 80 \text{ mm}) & a_{3,c,1} &= 4 \cdot d \\ a_{3,c,2} &= \max[(1 + 6 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 4 \cdot d] \\ a_{4,t} &= \max[(2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d] & a_{4,c} &= 3 \cdot d \end{aligned}$$

| | | maximální tah ve vaznici | maximální posouvající síla Vy |
|------------|----|-----------------------------|----------------------------------|
| $F_{v,Ed}$ | KN | 29,087 | 2,617 |
| α | ° | 2,02 | 40,7 |
| a_1 | mm | 80,0 | 76,1 |
| a_2 | mm | 64,0 | |
| $a_{3,t}$ | mm | 112,0 | |
| $a_{3,c}$ | mm | 64,0 | 78,6 |
| $a_{4,t}$ | mm | 48,0 | 52,9 |
| $a_{4,c}$ | mm | 48,0 | |

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 16^{2,6} = 324\,282 \text{ Nmm}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 380$$

$$f_{h,0,k} = 26,174 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 16 = 1,59$$

$$f_{h,1,k} = f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$\text{počet stříhových rovin} \quad n_s = 2$$

$$\text{celkový počet svorníků} \quad n = 1$$

pevnost ocelové desky libovolné tloušťky jako střední prvek dvojstřížného spoje

$$F_{v,Rk}' = \min \left\{ \begin{aligned} & f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ & 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{aligned} \right.$$

$$F_{v,Rd}' = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}'}{\gamma_m}$$

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd}' \cdot n_s \cdot n$$

$$F_{v,ed} \leq F_{v,Rd}$$

| | | maximální tah ve vaznici | maximální posouvající síla Vy |
|-------------|-----|-----------------------------|----------------------------------|
| $f_{h,1,k}$ | MPa | 26,155 | 20,921 |
| $F_{v,Rk}$ | (f) | 48,544 | 38,829 |
| | (g) | 23,953 | 19,904 |
| | (h) | 26,793 | 23,963 |
| $F_{v,Rd}$ | KN | 16,583 | 13,780 |
| $F_{v,Rd}$ | KN | 33,166 | 27,560 |
| $F_{v,ed}$ | KN | 29,087 | 2,617 |
| využití | | 88 % | 9 % |
| | | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

3.3.3.2 SMYK OSLABENÉHO PRŮŘEZU

$$V_d = \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2} = \sqrt{1,022^2 + (-5,847)^2} = 5,936 \text{ KN}$$

$$A_{net} = (b - d) \cdot t_1 = (120 - 16) \cdot 116 = 12\,064 \text{ mm}^2$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{5,936 \cdot 10^3}{12\,064} = 0,738 \text{ MPa}$$

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$0,738 < 1,94$$

VYHOVÍ (využití 38 %)

3.3.3.3 TLAK KOLMO K VLÁKNŮM

$$N_d = \max |V_{z,d}| = 5,847 \text{ KN}$$

$$A_{dot} = b \cdot l_p = 120 \cdot 160 = 19\,200 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{N_d}{A_{dot}} = \frac{5,847 \cdot 10^3}{19\,200} = 0,304 \text{ MPa}$$

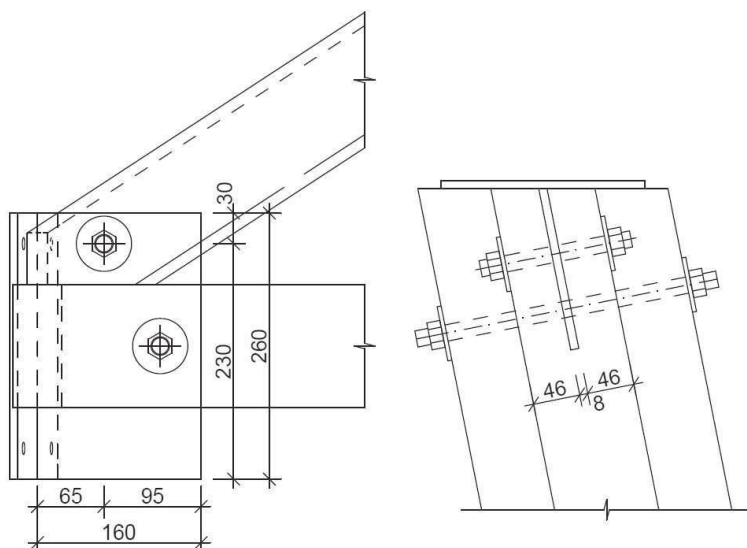
$$k_{c,90} = 1,0$$

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} = 1,0 \cdot 1,94 = 1,94 \text{ MPa}$$

$$0,304 \leq 1,94$$

VYHOVÍ (využití 16 %)

3.3.4 PLECH VSAZENÝ DO DIAGONÁLY



3.3.4.1 GEOMETRIE

| | | |
|---------|-------------------|-------------------------------------|
| LLD | výška | $h = 100 \text{ mm}$ |
| | tloušťka ve spoji | $t_1 = (h - t) / 2 = 46 \text{ mm}$ |
| plech | tloušťka | $t = 8 \text{ mm}$ |
| svorník | průměr | $d = 16 \text{ mm}$ |
| | počet | $n = 1$ |

3.3.4.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------------------------------|-----------------------|---|
| LLD | dřevo | $GL24h$ |
| | třída provozu | 2 |
| | třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| | hodnota k_{mod} | $k_{mod} = 0,90$ |
| | hustota | $\rho = 380 \text{ kg/m}^3$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | | $\gamma_m = 1,3 \text{ (pro spoje a RD)}$ |
| svorník | ocel | 8.8 |
| | mez kluzu | $f_{y,k} = 640 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_{u,k} = 800 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ $\gamma_{m2} = 1,25$ |

3.3.4.3 PEVNOST V OTLAČENÍ DŘEVA

$$F_{v,Ed} = \max F_{d,diag}$$

$$a_1 = (4 + |\cos \alpha|) \cdot d$$

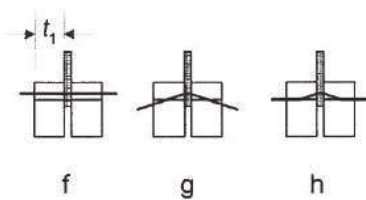
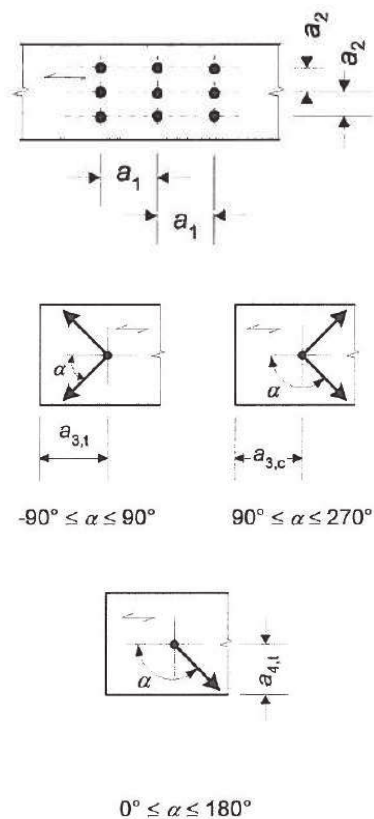
$$a_{3,t} = \max (7 \cdot d ; 80 \text{ mm})$$

$$a_{4,t} = \max [(2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d ; 3 \cdot d]$$

$$a_2 = 4 \cdot d$$

$$a_{3,c} = 4 \cdot d$$

$$a_{4,c} = 3 \cdot d$$



| | | maximální tlak v diagonále |
|------------|----------|----------------------------|
| $F_{v,Ed}$ | KN | 19,366 |
| α | $^\circ$ | 0,00 |
| a_1 | mm | 80,0 |
| a_2 | mm | 64,0 |
| $a_{3,t}$ | mm | 112,0 |
| $a_{3,c}$ | mm | 64,0 |
| $a_{4,t}$ | mm | 48,0 |
| $a_{4,c}$ | mm | 48,0 |

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 16^{2,6} = 324\,282 \text{ Nmm}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 380$$

$$f_{h,0,k} = 26,174 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 16 = 1,59$$

$$f_{h,1,k} = f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$\text{počet stříhových rovin} \quad n_s = 2$$

$$\text{celkový počet svorníků} \quad n = 1$$

pevnost ocelové desky libovolné tloušťky jako střední prvek dvojstřížného spoje

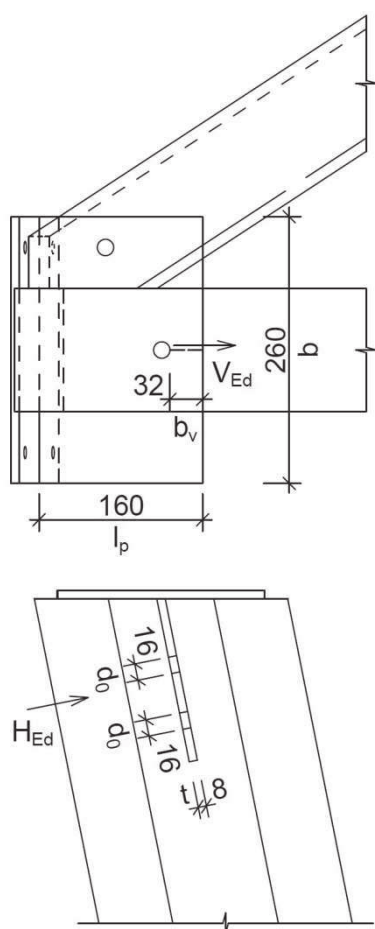
$$F_{v,Rk}' = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rd}' = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}'}{\gamma_m}$$

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd}' \cdot n_s \cdot n$$

$$F_{v,ed} \leq F_{v,Rd}$$

| | | maximální tlak v diagonále |
|-------------|-------|----------------------------|
| $f_{h,1,k}$ | MPa | 26,174 |
| $F_{v,Rk}'$ | (f) | 19,264 |
| | (g) | 16,589 |



| | | |
|------------|-------|-----------------------------|
| | | maximální tah ve vaznici |
| $F_{v,Rk}$ | (h) | 26,803 |
| $F_{v,Rd}$ | KN | 11,485 |
| $F_{v,Rd}$ | KN | 22,970 |
| $F_{v,ed}$ | KN | 19,366 |
| využití | | 84 % |
| | | VYHOVÍ |

3.3.5 PLECH

3.3.5.1 GEOMETRIE

| | |
|----------------------------|---|
| tloušťka | $t = 8 \text{ mm}$ |
| šířka | $b = 260 \text{ mm}$ |
| vzdálenost krajních vláken | $e = t/2 = 4 \text{ mm}$ |
| vyložení plechu | $l_p = 160 \text{ mm}$ |
| šířka účinná ve smyku | $b_v = 32 \text{ mm}$ |
| smyková plocha | $A_v = b_v \cdot t = 256 \text{ mm}^2$ |
| moment setrvačnosti | $I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot t^3 = 1,11 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$ |
| modul průřezu | $W_y = I_y/e = 2,78 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$ |

3.3.5.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------------------------------|--------------|---|
| plech | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ $\gamma_{m2} = 1,25$ |
| součinitel korelace | | $\beta_w = 0,8$ |

3.3.5.3 SMYK – VAZNICE

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{256 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 34,733 \text{ KN}$$

$$V_{Ed} = \max N_d = 29,069 \text{ KN}$$

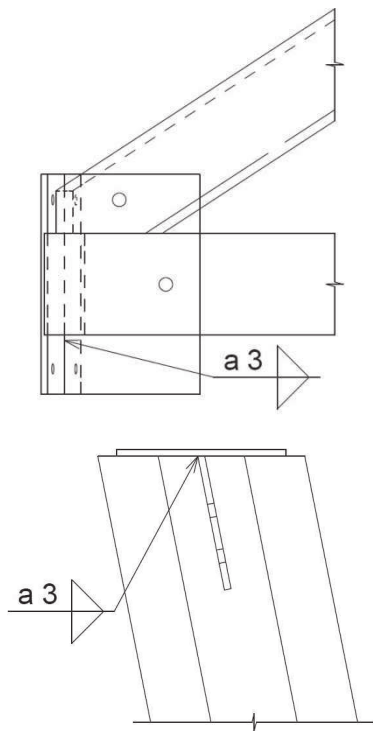
$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$29,069 < 34,733$$

VYHOVÍ (využití 84 %)

3.3.5.4 OHYB

$$M_{c,Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,78 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0} = 0,653 \text{ KNm}$$



$$H_{Ed} = \max |V_{z,d}| = 5,847 \text{ KN}$$

$$M_{Ed} = H_{Ed} \cdot \frac{l_p}{2} = 5,847 \cdot 10^3 \cdot \frac{160}{2} = 0,468 \text{ KNm}$$

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$0,468 \leq 0,714$$

VYHOVÍ (využití 66 %)

3.3.5.5 SVARY

$$\text{účinná výška svaru} \quad a = 3 \text{ mm}$$

$$\text{počet svarů} \quad n = 2$$

$$\text{účinná délka svaru} \quad l_{eff} = b - 2 \cdot a = 260 - 2 \cdot 3 = 254 \text{ mm}$$

$$\text{účinná plocha svaru} \quad A_w = n \cdot a \cdot l_{eff} = 1\,524 \text{ mm}^2$$

$$N_{sd} = odp \ N_d + odp \ N_{d,diag} = 2,019 + (-6,575) = -4,556 \text{ KN}$$

$$N_{sd} = 0 \text{ KN} \gg \text{tlaková síla, přenese se plechy}$$

$$V_{sd,y} = odp \ |V_{y,d}| + odp \ |V_{y,d,diag}| = odp \ |1,022| + odp \ |4,435|$$

$$V_{sd,y} = 5,457 \text{ KN}$$

$$V_{sd,z} = odp \ |V_{z,d}| = odp \ |-5,847| = 5,847 \text{ KN}$$

$$M_{sd,y} = V_{sd,z} \cdot \frac{l_p}{2} = 5,847 \cdot 10^3 \cdot \frac{160}{2} = 0,468 \text{ KNm}$$

$$M_{sd,z} = V_{sd,y} \cdot \frac{l_p}{2} = 5,457 \cdot 10^3 \cdot \frac{160}{2} = 0,437 \text{ KNm}$$

$$z_y = \frac{b}{2} = \frac{260}{2} = 130 \text{ mm}$$

$$z_z = e = 4 \text{ mm}$$

$$I_{w,y} = n \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot l_{eff} \cdot a^3 + l_{eff} \cdot a \cdot z_z^2 \right)$$

$$I_{w,y} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 254 \cdot 3^3 + 254 \cdot 3 \cdot 4^2 \right) = 2,55 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

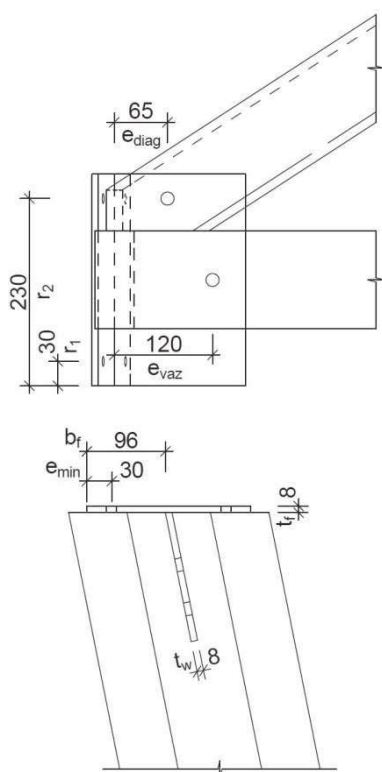
$$I_{w,z} = n \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot a \cdot l_{eff}^3 \right)$$

$$I_{w,z} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 254^3 \right) = 8,19 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{||} = \frac{V_{sd,y}}{A_w} = \frac{5,457 \cdot 10^3}{1\,524} = 3,58 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{+,1} = \tau_{+,1} = \frac{V_{sd,z}}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{5,847 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 1\,524} = 2,71 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{+,2} = \tau_{+,2} = \frac{M_{sd,y} \cdot z_z}{\sqrt{2} \cdot I_{w,y}} = \frac{0,468 \cdot 10^6 \cdot 4}{\sqrt{2} \cdot 2,55 \cdot 10^4} = 51,9 \text{ MPa}$$



$$\sigma_{\perp,3} = \tau_{\perp,3} = \frac{M_{sd,z} \cdot z_y}{\sqrt{2} \cdot I_{w,z}} = \frac{0,437 \cdot 10^6 \cdot 130}{\sqrt{2} \cdot 8,19 \cdot 10^6} = 4,90 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 2,71 + 51,9 + 4,90 = 59,5 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{59,5^2 + 3 \cdot 59,5^2 + 3 \cdot 3,58^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$119 < 360$$

VYHOVÍ (využití 33 %)

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25}$$

$$59,5 < 259$$

VYHOVÍ (využití 23 %)

3.3.6 NÁHRADNÍ T PROFIL V TAHU

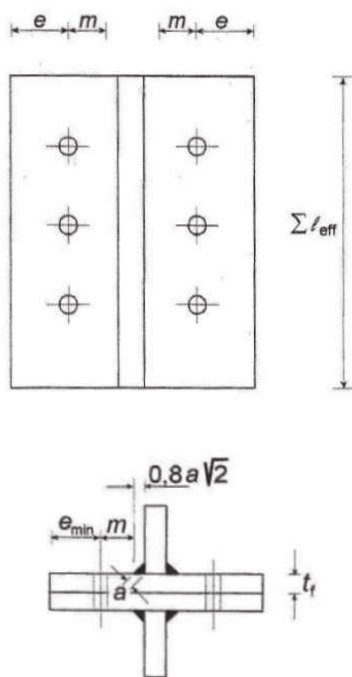
3.3.6.1 GEOMETRIE

| | |
|-----------------------------|--|
| tloušťka pásnice | $t_f = 8 \text{ mm}$ |
| tloušťka stojiny | $t_w = t = 8 \text{ mm}$ |
| šířka plechu | $b_p = 200 \text{ mm}$ |
| působíště síly od diagonály | $e_{diag} = 65 \text{ mm}$ |
| působíště síly od vaznice | $e_{vaz} = 120 \text{ mm}$ |
| ramena sil | $r_1 = 30 \text{ mm}$ |
| | $r_2 = 230 \text{ mm}$ |
| parametry pásnice | $b_f = (b_p - t_w)/2 = (200 - 8)/2$ |
| | $b_f = 96 \text{ mm}$ |
| | $e_{min} = e = e_1 = 30 \text{ mm}$ |
| | $m = b_f - e_{min} - 0,8 \cdot a \cdot \sqrt{2}$ |
| | $m = 96 - 30 - 0,8 \cdot 3 \cdot \sqrt{2} = 62,6 \text{ mm}$ |
| | $n = e_{min} \leq 1,25 \cdot m$ |
| | $n = 30 \text{ mm}$ |

3.3.6.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------|--------------|-------------------------|
| plech | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{m0} = 1,0$



3.3.6.3 VNITŘNÍ SÍLY

$$F_{t,1,Ed} = \frac{\max N_d + \text{odp } N_{d,diag}}{2} = \frac{29,069 + (-8,103)}{2} = 10,483 \text{ KN}$$

$$M_{Ed} = \text{odp } |V_{y,d}| \cdot e_{vaz} + \text{odp } |V_{y,d,diag}| \cdot e_{diag}$$

$$M_{Ed} = |-1,025 \cdot 10^3| \cdot 120 + |-5,466 \cdot 10^3| \cdot 65 = 0,478 \text{ KNm}$$

$$M_{Ed} = \left(\frac{r_1^2 \cdot F_{t,2,Ed}}{r_2} + F_{t,2,Ed} \cdot r_2 \right) = \left(\frac{30^2 \cdot F_{t,2,Ed}}{230} + F_{t,2,Ed} \cdot 230 \right)$$

$$0,478 \cdot 10^6 = F_{t,2,Ed} \cdot 233,913 \gg F_{t,2,Ed} = 2,043 \text{ KN}$$

$$F_{t,Ed} = F_{t,1,Ed} + F_{t,2,Ed} = 12,526 \text{ KN}$$

3.3.6.4 NÁVRHOVÉ ÚNOSNOSTI

$$l_{eff,cp} = \min(2 \cdot \pi \cdot m; \pi \cdot m + 2 \cdot e_1)$$

$$l_{eff,cp} = \min(2 \cdot \pi \cdot 62,6; \pi \cdot 62,6 + 2 \cdot 30) = \min(393; 257)$$

$$l_{eff,cp} = 257 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc} = \min(4 \cdot m + 1,25 \cdot e; 2 \cdot m + 0,625 \cdot e + e_1)$$

$$l_{eff,nc} = \min(4 \cdot 62,6 + 1,25 \cdot 30; 2 \cdot 62,6 + 0,625 \cdot 30 + 30)$$

$$l_{eff,nc} = \min(288; 174)$$

$$l_{eff,nc} = 174 \text{ mm}$$

1. ZPŮSOB

$$\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = l_{eff,nc} \leq l_{eff,cp}$$

$$\Sigma l_{eff,1} = 174 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 174 \cdot 8^2 \cdot 235}{1,0} = 654\,240 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 654\,240}{62,6} = 41,804 \text{ KN}$$

2. ZPŮSOB

$$\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc}$$

$$\Sigma l_{eff,2} = 174 \text{ mm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 174 \cdot 8^2 \cdot 235}{1,0} = 654\,240 \text{ Nmm}$$

$$\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot F_{t,Rd}' = 2 \cdot 24,278 = 48,556 \text{ KN} \quad \text{viz 3.3.8.4}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 654\,240 + 30 \cdot 48,556 \cdot 10^3}{62,6 + 30}$$

$$F_{T,2,Rd} = 29,861 \text{ KN}$$

3. ZPŮSOB

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 48,556 \text{ KN}$$

$$F_{T,Rd} = \min (F_{T,1,Rd} ; F_{T,2,Rd} ; F_{T,3,Rd})$$

$$F_{T,Rd} = \min (41,804 ; 29,861 ; 48,556)$$

$$F_{T,Rd} = 29,861 \text{ KN}$$

POSOUZENÍ

$$F_{t,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

$$12,526 < 29,861$$

VYHOVÍ (využití 42 %)

3.3.7 POSOUVAJÍCÍ SÍLA VE VLOŽCE

 osová vzdálenost vložek $l_1 = 1\,200 \text{ mm}$

 osová vzdálenost dříků $a_1 = 240 \text{ mm}$

 účinný štíhlostní poměr $\lambda_{ef} = 87,6$

viz C.4.6.5.4

 součinitel vzpěrné pevnosti $k_{c,z} = 0,456$

viz C.4.6.5.4

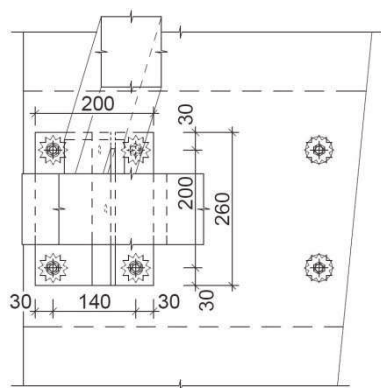
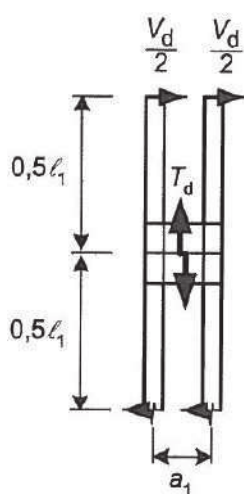
 $F_{c,d} \gg$ tlaková síla v žeburu v místě spoje

posouvající síla v žeburu

$$V_d = \frac{F_{c,d}}{60 \cdot k_{c,z}} \quad \text{pro } 60 \leq \lambda_{ef}$$

posouvající síla ve vložce

$$T_d = \frac{V_d \cdot l_1}{a_1}$$



| | | maximální tah ve vaznici | maximální posouvající síla V _z | maximální posouvající síla V _y |
|-----------|----|-----------------------------|---|---|
| $F_{c,d}$ | KN | 101,308 | 28,892 | 89,898 |
| V_d | KN | 3,703 | 1,056 | 3,286 |
| T_d | KN | 18,515 | 5,280 | 16,430 |

pozn. posouvající síly ve vložkách budou přičteny k příslušným posouvajícím silám od vaznic a diagonál

3.3.8 SVORNÍKY

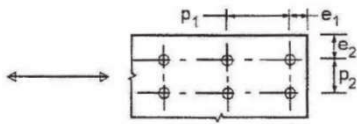
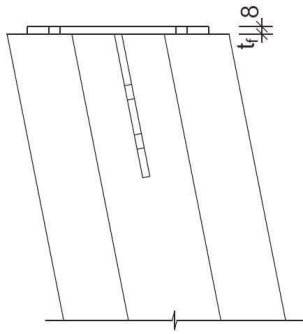
3.3.8.1 GEOMETRIE

 svorník průměr $d = 12 \text{ mm}$

 průměr hlavy šroubu $d_m = 20,5 \text{ mm}$

 plocha jádra $A_s = 84,3 \text{ mm}^2$

 tloušťka podložky $t_p = 3 \text{ mm}$



| | |
|-------|-----------------------------------|
| počet | $n = 4$ |
| plech | tloušťka $t = t_f = 8 \text{ mm}$ |

3.3.8.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|---------|--------------|----------------------------|
| svorník | ocel | 4.8 |
| | mez kluzu | $f_{yb} = 320 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_{ub} = 400 \text{ MPa}$ |
| plech | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |

| | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ |
| | $\gamma_{m2} = 1,25$ |

3.3.8.3 ROZTEČE V PLECHU

$$e_1 = e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 13 = 15,6 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 13 = 28,6 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 13 = 31,2 \text{ mm}$$

$$\text{volím} \quad e_1 = e_2 = 30 \text{ mm} \quad p_1 = 200 \text{ mm} \quad p_2 = 140 \text{ mm}$$

3.3.8.4 ÚNOSNOST V TAHU

$$F_{t,Rd}' = \frac{k_2 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 84,3 \cdot 400}{1,25} = 24,278 \text{ KN}$$

$$F_{t,Rd} = n \cdot F_{t,Rd}' = 4 \cdot 24,278 = 97,112 \text{ KN}$$

$$F_{t,Ed} = B_{p,Ed} = \max N_{d,1} + \text{odp } N_{d,diag,1} + \text{odp } N_{d,2} + \text{odp } N_{d,diag,2}$$

$$F_{t,Ed} = B_{p,Ed} = 29,069 + (-8,103) + 26,622 + (-5,489)$$

$$F_{t,Ed} = B_{p,Ed} = 42,099 \text{ KN}$$

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$$

$$42,099 < 97,112$$

VYHOVÍ (využití 43 %)

3.3.8.5 ÚNOSNOST V PROTLAČENÍ

$$B_{p,Rd}' = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 20,5 \cdot 3 \cdot 360}{1,25} = 33,386 \text{ KN}$$

$$B_{p,Rd} = n \cdot B_{p,Rd}' = 4 \cdot 33,386 = 133,544 \text{ KN}$$

$$B_{p,Ed} \leq B_{p,Rd}$$

$$42,099 < 133,544$$

VYHOVÍ (využití 32 %)

3.3.8.6 ÚNOSNOST VE STŘIHU

počet stříhových rovin $n_s = 2$

$$F_{v,Rd}' = n_s \cdot \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 84,3 \cdot 400}{1,25} = 32,371 \text{ KN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot F_{v,Rd}' = 4 \cdot 32,371 = 129,484 \text{ KN}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{(|V_{y,d,1}| + |V_{y,d,diag,1}| + |V_{y,d,2}| + |V_{y,d,diag,2}| + T_d)^2 + (|V_{z,d,1}| + |V_{z,d,2}|)^2}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{(|-1,025| + |-5,466| + |1,032| + |3,702| + 18,515)^2 + (|-0,388| + |0,388|)^2}$$

$$F_{v,Ed} = F_{b,Ed} = 29,750 \text{ KN}$$

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$29,750 < 129,484$$

VYHOVÍ (využití 23 %)

3.3.8.7 ÚNOSNOST V OTLAČENÍ

$$\alpha_d = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right)$$

$$\alpha_d = \min\left(\frac{30}{3 \cdot 12}; \frac{200}{3 \cdot 12} - \frac{1}{4}; \frac{400}{360}; 1,0\right)$$

$$\alpha_d = \min(0,833; 5,31; 1,11; 1,0) = 0,833$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{30}{12} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{140}{12} - 1,7; 2,5\right)$$

$$k_1 = \min(5,30; 14,6; 2,5) = 2,5$$

$$F_{b,Rd}' = \frac{k_1 \cdot \alpha_d \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,833 \cdot 360 \cdot 12 \cdot (2 \cdot 8)}{1,25} = 115,154 \text{ KN}$$

$$F_{b,Rd} = n \cdot F_{b,Rd}' = 4 \cdot 115,154 = 460,616 \text{ KN}$$

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$29,750 < 460,616$$

VYHOVÍ (využití 6 %)

3.3.8.8 KOMBINACE STŘIHU A TAHU

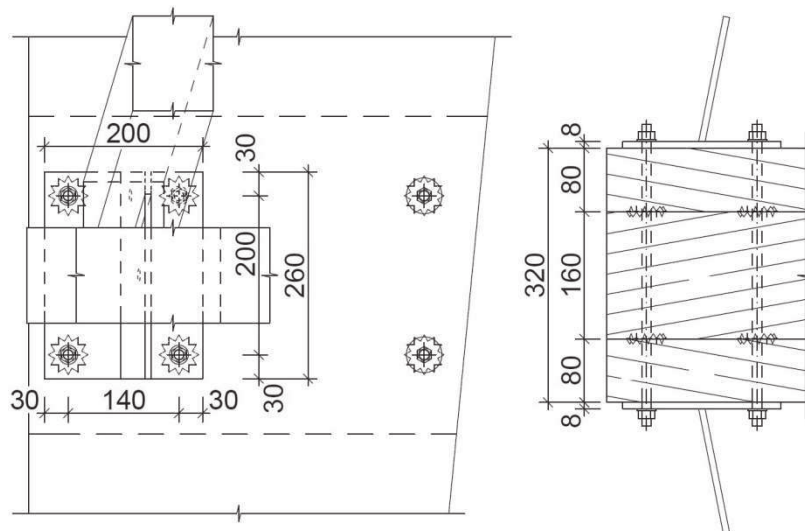
$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{29,750}{129,484} + \frac{42,099}{1,4 \cdot 97,112} \leq 1,0$$

$$0,539 \leq 1,0$$

VYHOVÍ (využití 54 %)

3.3.9 PLECHY OSAZENÉ NA ŽEBRO

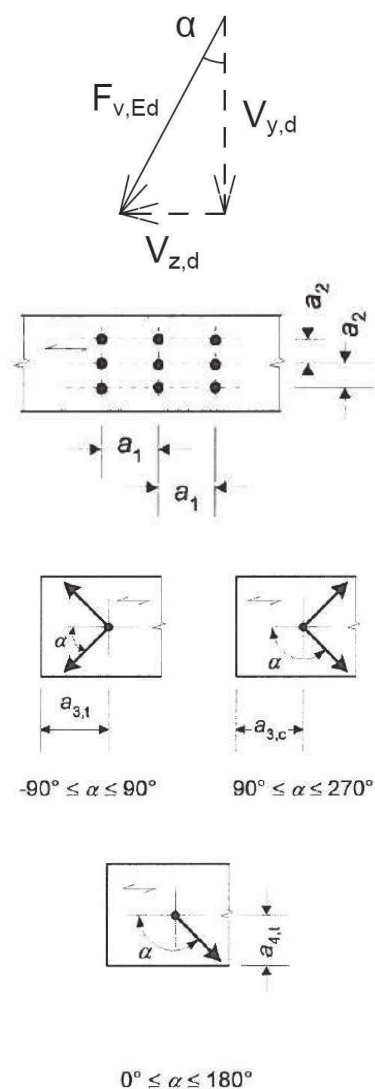


3.3.9.1 GEOMETRIE

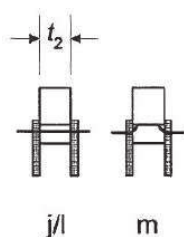
| | | |
|---------|----------|---|
| LLD | tloušťka | $t_2 = 2 \cdot b = 2 \cdot 80 = 160 \text{ mm}$ |
| plech | tloušťka | $t = 8 \text{ mm}$ |
| svorník | průměr | $d = 12 \text{ mm}$ |
| | počet | $n = 4$ |

3.3.9.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| LLD | dřevo | GL24h |
| | třída provozu | 2 |
| | třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| | hodnota k_{mod} | $k_{mod} = 0,90$ |
| | hustota | $\rho = 380 \text{ kg/m}^3$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | | $\gamma_m = 1,3 \text{ (pro spoje)}$ |
| svorník | ocel | 4.8 |
| | mez kluzu | $f_{y,k} = 320 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_{u,k} = 400 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ |
| | | $\gamma_{m2} = 1,25$ |



$$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$$



3.3.9.3 PEVNOST V OTLAČENÍ DŘEVA

$$F_{v,Ed} = \sqrt{(|V_{y,d,1}| + |V_{y,d,diag,1}| + |V_{y,d,2}| + |V_{y,d,diag,2}|)^2 + (|V_{z,d,1}| + |V_{z,d,2}|)^2}$$

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \cdot \frac{|V_{z,d,1}| + |V_{z,d,2}|}{|V_{y,d,1}| + |V_{y,d,diag,1}| + |V_{y,d,2}| + |V_{y,d,diag,2}|}$$

$$a_1 = (4 + |\cos \alpha|) \cdot d$$

$$a_2 = 4 \cdot d$$

$$a_{3,t} = \max (7 \cdot d ; 80 \text{ mm})$$

$$a_{3,c,1} = 4 \cdot d$$

$$a_{3,c,2} = \max [(1 + 6 \cdot \sin \alpha) \cdot d ; 4 \cdot d]$$

$$a_{4,t} = \max [(2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d ; 3 \cdot d]$$

$$a_{4,c} = 3 \cdot d$$

| | | maximální tah ve vaznici | maximální posouvající síla Vy | maximální posouvající síla Vz |
|------------|----|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| $F_{v,Ed}$ | KN | 29,750 | 19,475 | 35,032 |
| α | ° | 1,51 | 36,9 | 3,33 |
| a_1 | mm | 60,0 | 57,6 | 60,0 |
| a_2 | mm | 48,0 | | |
| $a_{3,t}$ | mm | 84,0 | | |
| $a_{3,c}$ | mm | 48,0 | 55,2 | 48,0 |
| $a_{4,t}$ | mm | 36,0 | 38,4 | 36,0 |
| $a_{4,c}$ | mm | 36,0 | | |

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 12^{2,6} = 76\,745 \text{ Nmm}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 380$$

$$f_{h,0,k} = 27,421 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 12 = 1,53$$

$$f_{h,2,k} = f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$\text{počet stříhových rovin} \quad n_s = 2$$

$$\text{celkový počet svorníků} \quad n = 4$$

$$t > 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 12 = 6 \text{ mm}$$

$$8 \text{ mm} > 6 \text{ mm} \quad \gg \quad \text{tlustá deska}$$

pevnost tlusté ocelové desky jako vnějšího prvku dvojstřížného spoje

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \right.$$

$$F_{v,Rd}' = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}'}{\gamma_m}$$

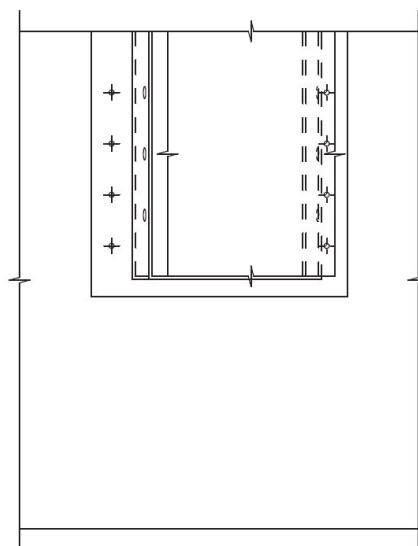
$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd}' \cdot n_s \cdot n$$

$$F_{v,ed} \leq F_{v,Rd}$$

| | | maximální tah ve vaznici | maximální posouvající síla Vy | maximální posouvající síla Vz |
|-------------|-------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| $f_{h,2,k}$ | MPa | 27,411 | 23,022 | 27,372 |
| $F_{v,Rk}'$ | (l) | 26,314 | 22,101 | 26,277 |
| | (m) | 11,556 | 10,591 | 11,548 |
| $F_{v,Rd}'$ | KN | 8,000 | 7,332 | 7,995 |
| $F_{v,Rd}$ | KN | 64,000 | 58,656 | 63,960 |
| $F_{v,ed}$ | KN | 29,750 | 19,475 | 35,032 |
| využití | | 46 % | 33 % | 55 % |
| | | VYHOVÍ | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

3.4 ULOŽENÍ STŘEŠNÍ VAZNICE NA ŽEBRO

spoj je tvořen třmenem vytvořeným z plechu, který je k vaznici připevněn pomocí vrtů, třmen je osazen na styčnickový plech připevněný na žebro také pomocí vrtů



3.4.1 VNITŘNÍ SÍLY

| | |
|--|------------------------------------|
| maximální tah (vaznice E6, KV26) | $N_d = 4,635 \text{ KN}$ |
| | odp. $V_{y,d} = -1,541 \text{ KN}$ |
| | odp. $V_{z,d} = -7,772 \text{ KN}$ |
| maximální posouvající síla (vaznice E5, KV11) | odp. $N_d = 1,604 \text{ KN}$ |
| | odp. $V_{y,d} = -2,598 \text{ KN}$ |
| | $V_{z,d} = -12,047 \text{ KN}$ |
| maximální posouvající síla od sání (vaznice E6, KV17) | odp. $N_d = 3,073 \text{ KN}$ |
| | odp. $V_{y,d} = -0,643 \text{ KN}$ |
| | $V_{z,d} = 1,563 \text{ KN}$ |

3.4.2 IDEALIZACE KONSTRUKCE

vlivem radiálního uspořádání žeber nejde o zcela kolmý přípoj vaznic na žebro, pro určení složek sil působících kolmo a rovnoběžně k žebro je nutná vektorová transformace vnitřních sil od vaznic a táhel

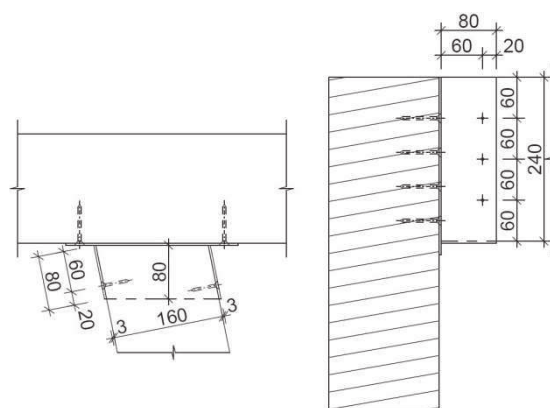
>> lze vycházet z posudku idealizace konstrukce pro uložení vaznice se ztužidly na žebro kopule >> viz 2.4.2

3.4.2.1 ZHODNOCENÍ

vzhledem k relativně malým tahovým silám ve vaznicích a absenci táhel, které by byly hlavní příčinou navýšení posouvajících sil, lze předpokládat minimální chybu při zjednodušení připoje

ve smykových posudcích žebra bude uvažováno s minimálně 20 % rezervou únosnosti

3.4.3 PLECHY OSAZENÉ NA VAZNICI



3.4.3.1 GEOMETRIE

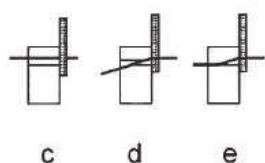
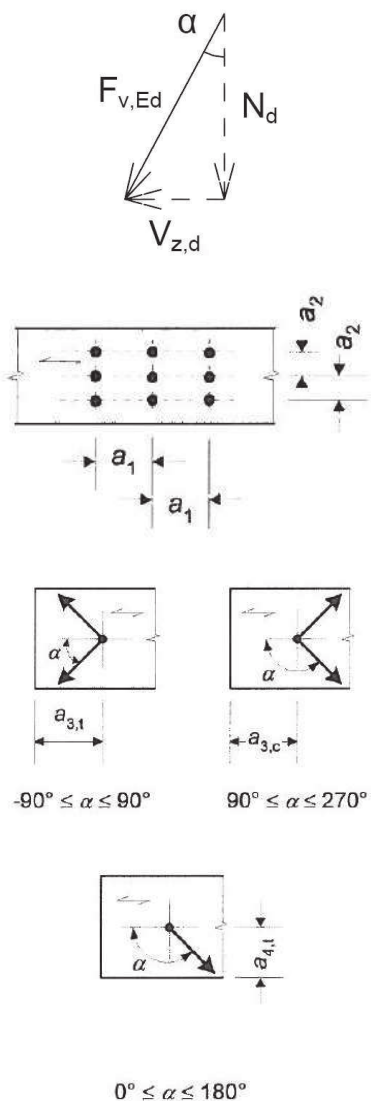
| | | |
|------------------|-------------------|----------------------------------|
| LLD | šířka | $b = 160 \text{ mm}$ |
| | výška | $h = 240 \text{ mm}$ |
| | tloušťka ve spoji | $t_1 = l - t = 37 \text{ mm}$ |
| třmen (plech) | tloušťka | $t = 3 \text{ mm}$ |
| | vyložení plechu | $l_p = 80 \text{ mm}$ |
| vrut | průměr | $d = 4 \text{ mm}$ |
| | délka | $l = 40 \text{ mm}$ |
| | efektivní délka | $l_{ef} = l - d = 36 \text{ mm}$ |
| | počet | $n = 3$ |
| | počet spojů | $s = 2$ |

3.4.3.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------------------------------|--|--------------------------------------|
| LLD | dřevo | $GL24h$ |
| | třída provozu | 2 |
| | třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| | hodnota k_{mod} | $k_{mod} = 0,90$ |
| | hustota | $\rho = 380 \text{ kg/m}^3$ |
| | charakteristická pevnost v tlaku \perp | $f_{c,90,k} = 2,70 \text{ MPa}$ |
| | návrhová pevnost v tlaku \perp | $f_{c,90,d} = 1,94 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | | $\gamma_m = 1,3 \text{ (pro spoje)}$ |
| | | $\gamma_m = 1,25 \text{ (pro LLD)}$ |
| vrut | ocel | 4.6 |
| | mez kluzu | $f_y = 240 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 400 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ |
| | | $\gamma_{m2} = 1,25$ |

3.4.3.3 ÚNOSNOST NA VYTAŽENÍ SPOJE

$$f_{ax,k} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_k^{1,5} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 380^{1,5} = 26,667 \text{ MPa}$$



$\alpha = 90^\circ \gg$ únosnost na vytažení kolmo k vláknům

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha + 1,5 \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{26,667}{\sin^2 90 + 1,5 \cdot \cos^2 90} = 26,667 \text{ MPa}$$

únosnost na vytažení jednoho spojovacího prostředku

$$F_{ax,Rk} = (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{0,8} \cdot f_{ax,\alpha,k} = (\pi \cdot 4 \cdot 36)^{0,8} \cdot 26,667 = 3,551 \text{ kN}$$

3.4.3.4 PEVNOST V OTLAČENÍ DŘEVA

$$F_{v,Ed} = \frac{\sqrt{N_d^2 + V_{z,d}^2}}{s} \quad \alpha = \operatorname{tg}^{-1} \cdot \frac{V_{z,d}}{N_d}$$

$$a_1 = (5 + 5 \cdot |\cos \alpha|) \cdot d$$

$$a_2 = 5 \cdot d$$

$$a_{3,t} = (10 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$$

$$a_{3,c} = 10 \cdot d$$

$$a_{4,t} = (5 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d$$

$$a_{4,c} = 5 \cdot d$$

pozn. s posouvající silou se uvažuje pouze při sání, v opačném případě se posouvající síla přenesla opřením vaznice o třmen

| | | maximální tah | maximální posouvající síla od sání |
|------------|----|---------------|------------------------------------|
| $F_{v,Ed}$ | KN | 2,318 | 1,724 |
| α | ° | 0,0 | 27,0 |
| a_1 | mm | 40,0 | 37,8 |
| a_2 | mm | 20,0 | |
| $a_{3,t}$ | mm | 60,0 | 57,8 |
| $a_{3,c}$ | mm | 40,0 | |
| $a_{4,t}$ | mm | 20,0 | 23,6 |
| $a_{4,c}$ | mm | 20,0 | |

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 4^{2,6} = 4\,411 \text{ Nmm}$$

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 380 \cdot 4^{-0,3}$$

$$f_{h,k} = 20,558 \text{ MPa}$$

$$\text{počet stříhových rovin} \quad n_s = 1$$

$$\text{celkový počet vrutů} \quad n = 3$$

$$t = 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 4 = 2 \text{ mm}$$

$$3 \text{ mm} > 2 \text{ mm} \gg \text{tlustá deska}$$

pevnost tlusté ocelové desky jednostřížného spoje

$$F_{v,Rk}' = \min \left\{ f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \right\}$$

$$\min \left\{ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}, \frac{f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d}{f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d} \right\}$$

pozn. příspěvek k únosnosti od účinku sepnutí spoje se pro vruty omezuje na 100% z Johansenovy části

$$F_{v,Rd}' = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}'}{\gamma_m}$$

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd}' \cdot n_s \cdot n$$

$$F_{v,ed} \leq F_{v,Rd}$$

| | | maximální tah | maximální posouvající síla od sání |
|-------------|-------|---------------|------------------------------------|
| $F_{v,Rk}'$ | (c) | 2,313 | |
| | (d) | 2,273 | |
| | (e) | 3,043 | |
| $F_{v,Rd}'$ | KN | 1,574 | |
| $F_{v,Rd}$ | KN | 4,722 | |
| $F_{v,ed}$ | KN | 2,318 | 1,724 |
| využití | | 49 % | 37 % |
| | | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

3.4.3.5 TLAK KOLMO K VLÁKNŮM

$$N_d = \max |V_{z,d}| = 12,047 \text{ KN}$$

$$A_{dot} = b \cdot l_p = 160 \cdot 80 = 12\,800 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{N_d}{A_{dot}} = \frac{12,047 \cdot 10^3}{12\,800} = 0,941 \text{ MPa}$$

$$k_{c,90} = 1,0$$

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} = 1,0 \cdot 1,94 = 1,94 \text{ MPa}$$

$$0,941 \leq 1,94$$

VYHOVÍ (využití 49 %)

3.4.4 TŘMEN

3.4.4.1 GEOMETRIE

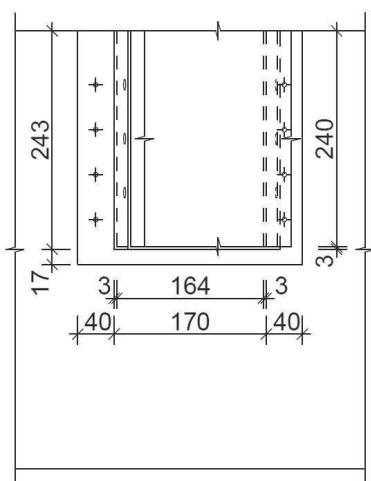
$$\text{tloušťka} \quad t = 3 \text{ mm}$$

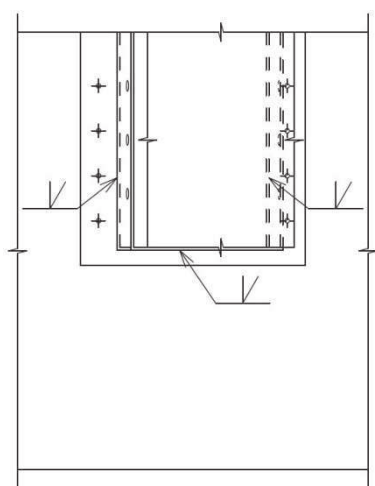
$$\text{šířka} \quad b = 160 \text{ mm}$$

$$\text{výška} \quad h = 240 \text{ mm}$$

$$\text{vyložení plechu} \quad l_p = 80 \text{ mm}$$

$$\text{oslabená plocha} \quad A_{net} = 2 \cdot (h - n \cdot d) \cdot t + b \cdot t$$





$$A_{net} = 2 \cdot (240 - 3 \cdot 4) \cdot 3 + 160 \cdot 3$$

$$A_{net} = 1\,848 \text{ mm}^2$$

smyková plocha

$$A_{v,y} = b \cdot t = 160 \cdot 3 = 480 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,z} = 2 \cdot (h - n \cdot d) \cdot t$$

$$A_{v,z} = 2 \cdot (240 - 3 \cdot 4) \cdot 3 = 1\,368 \text{ mm}^2$$

3.4.4.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------|--------------|-------------------------|
| plech | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$
 $\gamma_{m2} = 1,25$

součinitel korelace $\beta_w = 0,8$

3.4.4.3 TAH

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1\,848 \cdot 360}{1,25} = 479,002 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} = \max N_d = 4,635 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{u,Rd}$$

$$4,635 < 479,002$$

VYHOVÍ (využití 1 %)

3.4.4.4 SMYK

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{480 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 65,125 \text{ KN}$$

$$V_{y,Ed} = \max |V_{y,d}| = 2,598 \text{ KN}$$

$$V_{y,Ed} \leq V_{pl,y,Rd}$$

$$2,598 < 65,125$$

VYHOVÍ (využití 4 %)

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1\,368 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 185,607 \text{ KN}$$

$$V_{z,Ed} = \max |V_{z,d}| = 12,047 \text{ KN}$$

$$V_{z,Ed} \leq V_{pl,z,Rd}$$

$$12,047 < 185,607$$

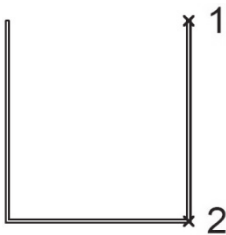
VYHOVÍ (využití 6 %)

3.4.4.5 SVARY

účinná výška svaru $a = t = 3 \text{ mm}$

účinná délka svaru $l_{eff,1} = h - 2 \cdot a = 240 - 2 \cdot 3$

$$l_{eff,1} = 234 \text{ mm}$$



$$l_{eff,2} = b - 2 \cdot a = 160 - 2 \cdot 3$$

$$l_{eff,2} = 154 \text{ mm}$$

$$\text{účinná plocha svaru} \quad A_{w,z} = 2 \cdot a \cdot l_{eff,1} = 1\,404 \text{ mm}^2$$

$$A_{w,y} = a \cdot l_{eff,2} = 462 \text{ mm}^2$$

$$A_w = A_{w,z} + A_{w,y} = 1\,866 \text{ mm}^2$$

$$N_{sd} = \text{odp } N_d = 1,604 \text{ KN}$$

$$V_{sd,y} = \text{odp } |V_{y,d}| = 2,598 \text{ KN}$$

$$V_{sd,z} = \max |V_{z,d}| = 12,047 \text{ KN}$$

$$M_{sd,y} = V_{sd,z} \cdot \frac{l_p}{2} = 12,047 \cdot 10^3 \cdot \frac{80}{2} = 0,482 \text{ KNm}$$

$$M_{sd,z} = V_{sd,y} \cdot \frac{l_p}{2} = 2,598 \cdot 10^3 \cdot \frac{80}{2} = 0,104 \text{ KNm}$$

$$z_{y,1} = \frac{b}{2} = \frac{160}{2} = 80 \text{ mm}$$

$$z_t = z_{z,1} = \frac{2 \cdot h \cdot a \cdot \frac{h}{2}}{2 \cdot h \cdot a + b \cdot a} = \frac{2 \cdot 240 \cdot 3 \cdot \frac{240}{2}}{2 \cdot 240 \cdot 3 + 160 \cdot 3} = 90 \text{ mm}$$

$$z_{z,2} = h - z_{z,1} = 240 - 90 = 150 \text{ mm}$$

$$I_{w,y} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot a \cdot l_{eff,1}^3 + a \cdot l_{eff,1} \cdot \left(\frac{h}{2} - z_{z,1} \right)^2 \right) + \frac{1}{12} \cdot l_{eff,2} \cdot a^3 + l_{eff,2} \cdot a \cdot z_{z,1}^2$$

$$I_{w,y} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 234^3 + 3 \cdot 234 \cdot \left(\frac{240}{2} - 90 \right)^2 \right) + \frac{1}{12} \cdot 154 \cdot 3^3 + 154 \cdot 3 \cdot 90^2$$

$$I_{w,y} = 1,14 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$I_{w,z} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot l_{eff,1} \cdot a^3 + l_{eff,1} \cdot a \cdot z_{y,1}^2 \right) + \frac{1}{12} \cdot a \cdot l_{eff,2}^3$$

$$I_{w,z} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 234 \cdot 3^3 + 234 \cdot 3 \cdot 80^2 \right) + \frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 154^3$$

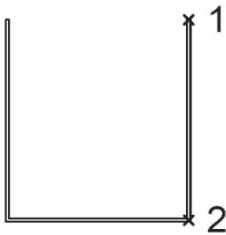
$$I_{w,z} = 9,90 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

BOD 1

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{sd,z}}{A_{wz}} = \frac{12,047 \cdot 10^3}{1\,404} = 8,58 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,1} = \tau_{\perp,1} = \frac{N_{sd}}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{1,604 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 1\,866} = 0,608 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,2} = \tau_{\perp,2} = \frac{M_{sd,y} \cdot z_{z,2}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,y}} = \frac{0,482 \cdot 10^6 \cdot 150}{\sqrt{2} \cdot 1,14 \cdot 10^7} = 4,48 \text{ MPa}$$



$$\sigma_{\perp,3} = \tau_{\perp,3} = \frac{M_{sd,z} \cdot z_{y,1}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,z}} = \frac{0,104 \cdot 10^6 \cdot 80}{\sqrt{2} \cdot 9,90 \cdot 10^6} = 0,594 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0,608 + 4,48 + 0,594 = 5,68 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{5,68^2 + 3 \cdot 5,68^2 + 3 \cdot 8,58^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$18,7 < 360$$

VYHOVÍ (využití 5 %)

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25}$$

$$5,68 < 259$$

VYHOVÍ (využití 2 %)

BOD 2

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{sd,y}}{A_{wy}} = \frac{2,598 \cdot 10^3}{462} = 5,62 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,1} = \tau_{\perp,1} = \frac{N_{sd}}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{1,604 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 1\,866} = 0,608 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,2} = \tau_{\perp,2} = \frac{M_{sd,y} \cdot z_{z,1}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,y}} = \frac{0,482 \cdot 10^6 \cdot 90}{\sqrt{2} \cdot 1,14 \cdot 10^7} = 2,69 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,3} = \tau_{\perp,3} = \frac{M_{sd,z} \cdot z_{y,1}}{\sqrt{2} \cdot I_{w,z}} = \frac{0,104 \cdot 10^6 \cdot 80}{\sqrt{2} \cdot 9,90 \cdot 10^6} = 0,594 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0,608 + 2,69 + 0,594 = 3,89 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{3,89^2 + 3 \cdot 3,89^2 + 3 \cdot 5,62^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

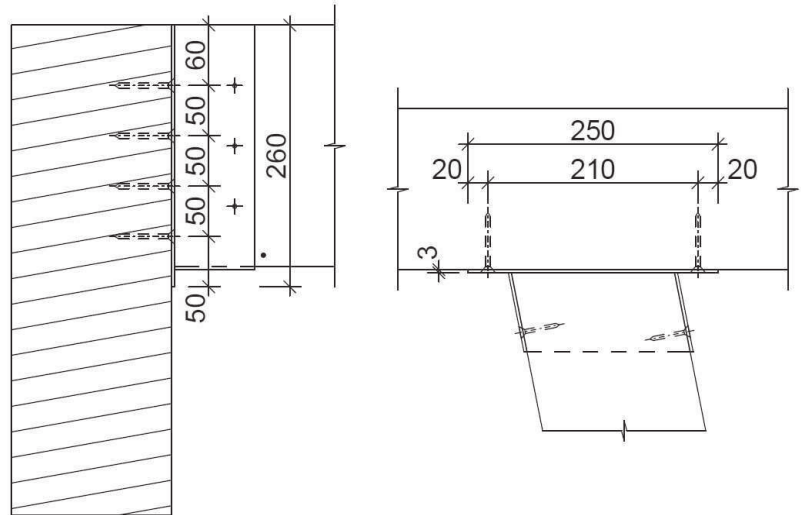
$$12,5 < 360$$

VYHOVÍ (využití 3 %)

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25}$$

$$3,89 < 259$$

VYHOVÍ (využití 2 %)

3.4.5 PLECH OSAZENÝ NA ŽEBRO**3.4.5.1 GEOMETRIE**

| | | |
|-------|-------------------|----------------------------------|
| LLD | tloušťka ve spoji | $t_1 = l - t = 57 \text{ mm}$ |
| plech | tloušťka | $t = 3 \text{ mm}$ |
| vrut | průměr | $d = 5 \text{ mm}$ |
| | délka | $l = 60 \text{ mm}$ |
| | efektivní délka | $l_{ef} = l - d = 55 \text{ mm}$ |
| | počet | $n = 4$ |
| | počet spojů | $s = 2$ |

3.4.5.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------------------------------|---|-----------------------------|
| LLD | dřevo | GL24h |
| | třída provozu | 2 |
| | třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| | hodnota k_{mod} | $k_{mod} = 0,90$ |
| | hustota | $\rho = 380 \text{ kg/m}^3$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_m = 1,3 \text{ (pro spoje)}$ | |
| vrut | ocel | 4.6 |
| | mez kluzu | $f_y = 240 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 400 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ $\gamma_{m2} = 1,25$ | |

3.4.5.3 ÚNOSNOST NA VYTAŽENÍ SPOJE

$$F_{ax,Ed} = \frac{N_d}{s}$$

$$f_{ax,k} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_k^{1,5} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 380^{1,5} = 26,667 \text{ MPa}$$

$\alpha = 90^\circ \gg$ únosnost na vytažení kolmo k vláknům

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha + 1,5 \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{26,667}{\sin^2 90 + 1,5 \cdot \cos^2 90} = 26,667 \text{ MPa}$$

$n_{ef} = n^{0,9} = 3,48 \gg$ skupina vrutů je zatížena rovnoběžně s dřívky

$$F_{ax,Rk} = F_{ax,\alpha,k} = n_{ef} \cdot (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{0,8} \cdot f_{ax,\alpha,k}$$

$$F_{ax,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{ax,Rk}}{\gamma_m}$$

| | | maximální tah | maximální posouvající síla |
|-------------|----|---------------|----------------------------|
| $F_{ax,Rk}$ | KN | 20,737 | |
| $F_{ax,Rd}$ | KN | 14,356 | |
| $F_{ax,Ed}$ | KN | 2,218 | 0,802 |
| využití | | 15 % | 6 % |
| | | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

únosnost na vytažení jednoho spojovacího prostředku

$$F_{ax,Rk} = (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{0,8} \cdot f_{ax,\alpha,k} = (\pi \cdot 5 \cdot 55)^{0,8} \cdot 26,667 = 5,959 \text{ KN}$$

3.4.5.4 PEVNOST V OTLAČENÍ DŘEVA

$$F_{v,Ed} = \frac{\sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2}}{s}$$

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \cdot \frac{V_{z,d}}{V_{y,d}}$$

$$a_1 = (5 + 7 \cdot |\cos \alpha|) \cdot d$$

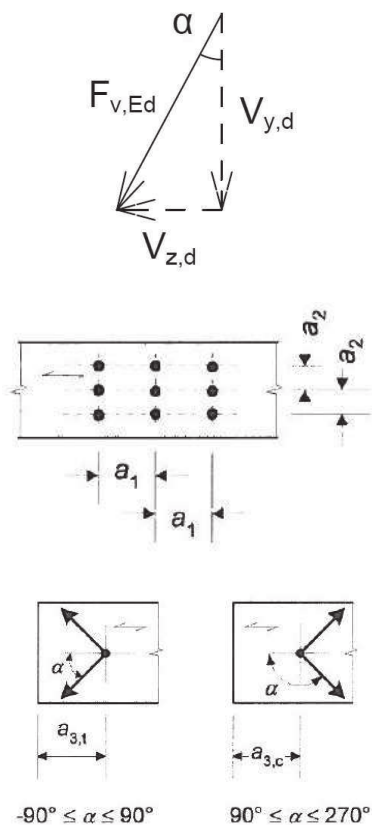
$$a_2 = 5 \cdot d$$

$$a_{3,t} = (10 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$$

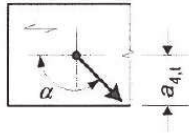
$$a_{3,c} = 10 \cdot d$$

$$a_{4,t} = (5 + 5 \cdot \sin \alpha) \cdot d$$

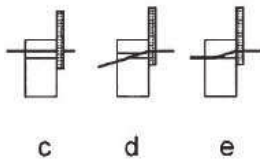
$$a_{4,c} = 5 \cdot d$$



| | | maximální tah | maximální posouvající síla |
|------------|----|---------------|----------------------------|
| $F_{v,Ed}$ | KN | 3,962 | 6,162 |
| α | ° | 78,8 | 77,8 |
| a_1 | mm | 31,8 | 32,4 |
| a_2 | mm | 25,0 | |
| $a_{3,t}$ | mm | 54,9 | 55,3 |
| $a_{3,c}$ | mm | 50,0 | |
| $a_{4,t}$ | mm | 49,5 | 49,4 |
| $a_{4,c}$ | mm | 25,0 | |



$$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$$



$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 5^{2,6} = 7\,880 \text{ Nmm}$$

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 380 \cdot 5^{-0,3}$$

$$f_{h,k} = 19,227 \text{ MPa}$$

$$\text{počet stříhových rovin} \quad n_s = 1$$

$$\text{celkový počet vrutů} \quad n = 4$$

$$t > 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 5 = 2,5 \text{ mm}$$

$$3 \text{ mm} > 2,5 \text{ mm} \quad \gg \quad \text{tlustá deska}$$

pevnost tlusté ocelové desky jednostřížného spoje

$$F_{v,Rk}' = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \end{array} \right.$$

pozn. příspěvek k únosnosti od účinku sepnutí spoje se pro vruty omezuje na 100% z Johansenovy části

$$F_{v,Rd}' = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}'}{\gamma_m}$$

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd}' \cdot n_s \cdot n$$

$$F_{v,ed} \leq F_{v,Rd}$$

| | | maximální tah | maximální posouvající síla |
|-------------|-------|---------------|----------------------------|
| $F_{v,Rk}'$ | (c) | 3,953 | |
| | (d) | 3,492 | |
| | (e) | 5,480 | |
| $F_{v,Rd}'$ | KN | 2,418 | |
| $F_{v,Rd}$ | KN | 9,672 | |
| $F_{v,ed}$ | KN | 3,962 | 6,162 |
| využití | | 41 % | 64 % |
| | | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

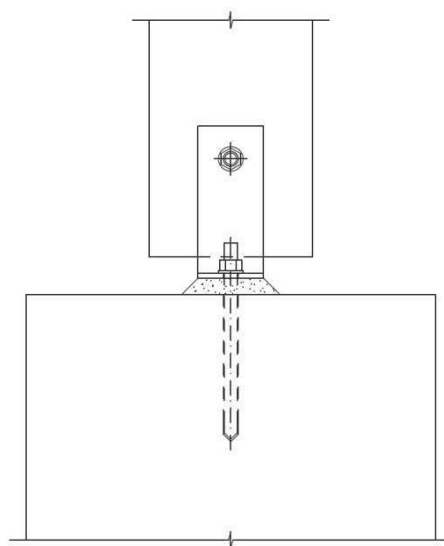
3.4.5.5 VRUTY ZATÍŽENÉ SOUČASNĚ PŘÍČNĚ I OSOVĚ

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1$$

| | | maximální tah | maximální posouvající síla |
|-------------|------|---------------|-------------------------------|
| $F_{ax,Rd}$ | KN | 14,356 | |
| $F_{ax,Ed}$ | KN | 2,218 | 0,802 |
| $F_{v,Rd}$ | KN | 9,672 | |
| $F_{v,ed}$ | KN | 3,962 | 6,162 |
| využití | | 19 % | 41 % |
| | | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

3.5 KOTVENÍ SLOUPU

spoj je tvořen plechy osazenými na sloup a zajištěnými svorníkem a v dolní části jsou plechy osazeny na patní plech kotvený do základového pasu pomocí kotevních šroubů

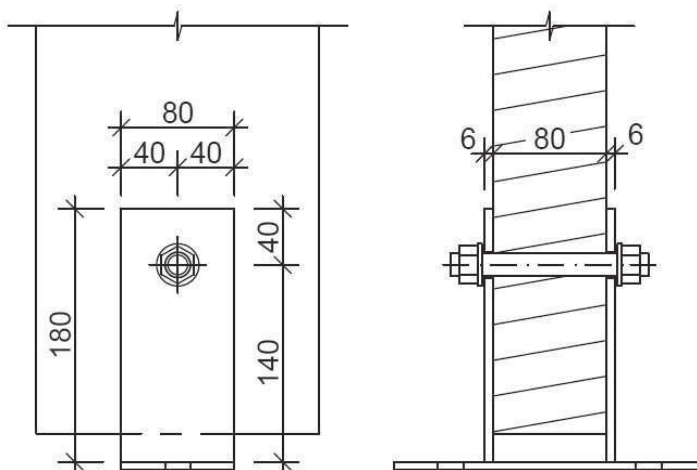


3.5.1 VNITŘNÍ SÍLY

maximální tlak $N_d = -6,504 \text{ KN}$
 (sloup I2, J2) odp. $V_{z,d} = -4,611 \text{ KN}$
 viz C.4.7.4

maximální posouvající síla odp. $N_d = -5,682 \text{ KN}$
 (sloup I1, J1) $V_{z,d} = -6,240 \text{ KN}$
 viz C.4.7.4

3.5.2 PLECHY OSAZENÉ NA SLOUP



3.5.2.1 GEOMETRIE

LLD tloušťka $b = t_2 = 80 \text{ mm}$
 plech tloušťka $t_s = 6 \text{ mm}$

| | | |
|---------|--------|---------------------|
| svorník | průměr | $d = 16 \text{ mm}$ |
| | počet | $n = 1$ |

3.5.2.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-----|-----------------------|-----------------------------|
| LLD | dřevo | $GL24h$ |
| | třída provozu | 2 |
| | třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| | hodnota k_{mod} | $k_{mod} = 0,90$ |
| | hustota | $\rho = 380 \text{ kg/m}^3$ |

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_m = 1,3$ (pro spoje)

| | | |
|---------|--------------|-----------------------------|
| svorník | ocel | 4.8 |
| | mez kluzu | $f_{y,k} = 320 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_{u,k} = 400 \text{ MPa}$ |

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$
 $\gamma_{m2} = 1,25$

3.5.2.3 PEVNOST V OTLAČENÍ DŘEVA

$$F_{v,Ed} = \sqrt{N_d^2 + V_{z,d}^2} \quad \alpha = \text{tg}^{-1} \cdot \frac{V_{z,d}}{N_d}$$

$$a_1 = (4 + |\cos \alpha|) \cdot d$$

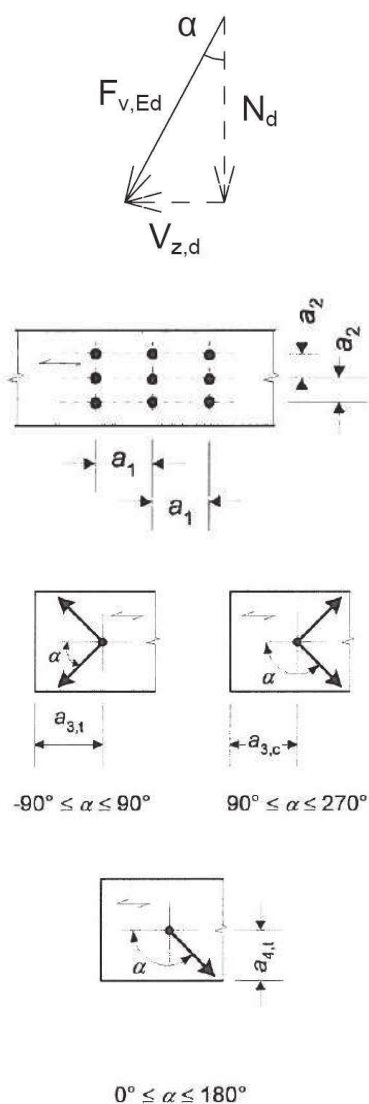
$$a_2 = 4 \cdot d$$

$$a_{3,t} = \max(7 \cdot d; 80 \text{ mm})$$

$$a_{3,c} = \max[(1 + 6 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 4 \cdot d]$$

$$a_{4,t} = \max[(2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d]$$

$$a_{4,c} = 3 \cdot d$$



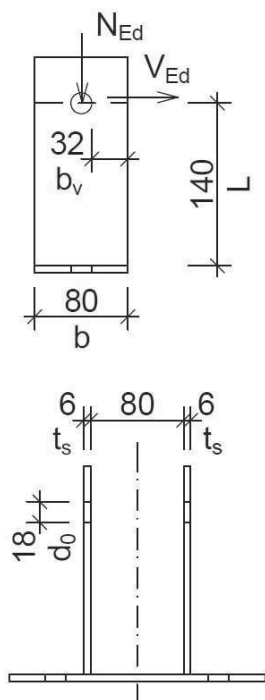
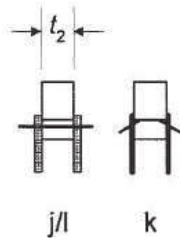
| | | maximální tlak | maximální tah a posouvající síla |
|------------|----------|----------------|-------------------------------------|
| $F_{v,Ed}$ | KN | 7,973 | 8,439 |
| α | $^\circ$ | 35,3 | 47,7 |
| a_1 | mm | 77,1 | 74,8 |
| a_2 | mm | 64,0 | |
| $a_{3,t}$ | mm | 112,0 | |
| $a_{3,c}$ | mm | 71,5 | 87,0 |
| $a_{4,t}$ | mm | 50,5 | 55,7 |
| $a_{4,c}$ | mm | 48,0 | |

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 16^{2,6} = 162\,141 \text{ Nmm}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 380$$

$$f_{h,0,k} = 26,174 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 16 = 1,59$$



$$f_{h,2,k} = f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

počet stříhových rovin $n_s = 2$

celkový počet svorníků $n = 1$

$$t < 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 16 = 8 \text{ mm}$$

$6 \text{ mm} < 8 \text{ mm} \Rightarrow$ tenká deska

pevnost tenké ocelové desky jako vnějšího prvku dvojstřížného spoje

$$F_{v,Rk}' = \min \left\{ \frac{0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d}{1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d}} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \right\}$$

$$F_{v,Rd}' = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}'}{\gamma_m}$$

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd}' \cdot n_s \cdot n$$

$$F_{v,ed} \leq F_{v,Rd}$$

| | | maximální tlak | maximální posouvající síla |
|-------------|-------|----------------|----------------------------|
| $f_{h,2,k}$ | MPa | 21,860 | 19,791 |
| $F_{v,Rk}'$ | (l) | 13,991 | 12,666 |
| | (k) | 12,247 | 11,653 |
| $F_{v,Rd}'$ | KN | 8,479 | 8,067 |
| $F_{v,Rd}$ | KN | 16,958 | 16,134 |
| $F_{v,ed}$ | KN | 7,973 | 8,439 |
| využití | | 47 % | 52 % |
| | | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

3.5.3 SVISLÉ PLECHY

3.5.3.1 GEOMETRIE

tloušťka $t_s = 6 \text{ mm}$

šířka v místě otvoru $b = 80 \text{ mm}$

šířka účinná ve smyku $b_v = 32 \text{ mm}$

plocha $A = b \cdot t_s = 480 \text{ mm}^2$

smyková plocha $A_v = b_v \cdot t_s = 192 \text{ mm}^2$

poloměr setrvačnosti $i = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot t_s^2} = 1,73 \text{ mm}$

délka $L = 140 \text{ mm}$

konzola $\beta = 2,0$

kritická délka $L_{cr} = L \cdot \beta = 140 \cdot 2,0 = 280 \text{ mm}$

3.5.3.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| plechy | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ | |
| | $\gamma_{m2} = 1,25$ | |

3.5.3.3 VZPĚŘ

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{280}{1,73} = 162$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{162}{93,9} = 1,73$$

$$\text{křivka vzpěrné pevnosti "c" } \gg \alpha = 0,49$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (1,73 - 0,2) + 1,73^2) = 2,37$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,37 + \sqrt{2,37^2 - 1,73^2}} = 0,251$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,251 \cdot 480 \cdot 235}{1,0} = 28,313 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} = |\min N_d| / 2 = 3,252 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

$$3,252 < 28,313$$

VYHOVÍ (využití 11 %)

3.5.3.4 SMYK

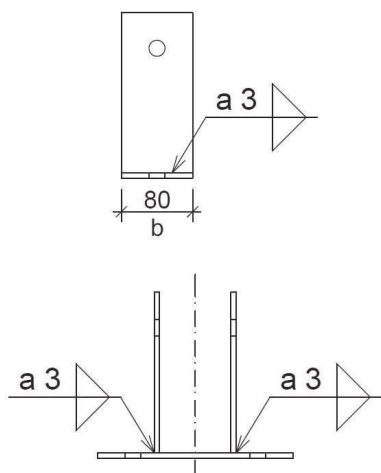
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{192 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 26,050 \text{ KN}$$

$$V_{Ed} = \max |V_{z,d}| / 2 = 3,120 \text{ KN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$3,120 < 26,050$$

VYHOVÍ (využití 12 %)

**3.5.3.5 SVARY**

| | |
|---------------------|--|
| účinná výška svaru | $a = 3 \text{ mm}$ |
| počet svarů | $n = 4$ |
| účinná délka svaru | $l_{eff} = b - 2 \cdot a = 80 - 2 \cdot 3 = 74 \text{ mm}$ |
| účinná plocha svaru | $A_w = n \cdot a \cdot l_{eff} = 888 \text{ mm}^2$ |

$$N_{sd} = odp |N_d| = 0 \text{ KN} \gg \text{tlaková reakce, přenesena se plechy}$$

$$V_{sd,z} = \max |V_{z,d}| = 6,240 \text{ KN}$$

$$M_{sd,y} = V_{sd,z} \cdot L = 6,240 \cdot 10^3 \cdot 140 = 0,874 \text{ KNm}$$

$$z_z = \frac{b}{2} = \frac{80}{2} = 40 \text{ mm}$$

$$I_{w,y} = n \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot a \cdot l_{eff}^3 \right)$$

$$I_{w,y} = 4 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 74^3 \right) = 4,05 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{sd,z}}{A_w} = \frac{6,240 \cdot 10^3}{888} = 7,03 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{M_{sd,y} \cdot z_z}{\sqrt{2} \cdot I_{w,y}} = \frac{0,874 \cdot 10^6 \cdot 40}{\sqrt{2} \cdot 4,05 \cdot 10^5} = 61,0 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{61,0^2 + 3 \cdot 61,0^2 + 3 \cdot 7,03^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

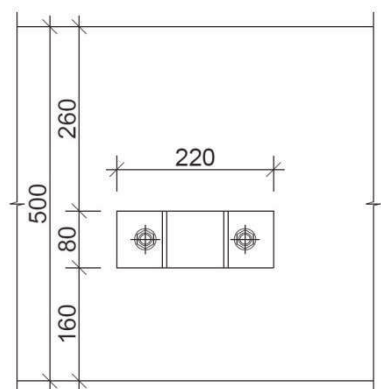
$$123 < 360$$

VYHOVÍ (využití 34 %)

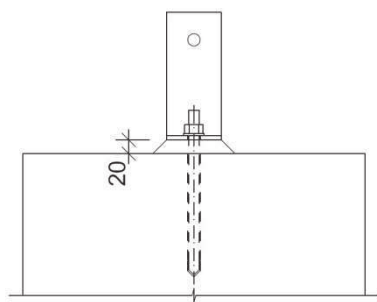
$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25}$$

$$61,0 < 259$$

VYHOVÍ (využití 24 %)

**3.5.4 PATNÍ DESKA****3.5.4.1 GEOMETRIE**

| | |
|------------------------|---------------------------|
| tloušťka patní desky | $t = 6 \text{ mm}$ |
| tloušťka podlití | $t_{pod} = 20 \text{ mm}$ |
| šířka patní desky | $a = 220 \text{ mm}$ |
| délka patní desky | $b = 80 \text{ mm}$ |
| šířka základového pasu | $a_c = - \text{mm}$ |
| délka základového pasu | $b_c = 500 \text{ mm}$ |



výška základového pasu $h_c = 1\,000\text{ mm}$
 vzdálenost desky od okrajů $a_r = -\text{ mm}$
 $b_r = 160\text{ mm}$
 šířka svislých plechů $a_{pd} = t_s = 6\text{ mm}$
 délka svislých plechů $b_{pd} = b = 80\text{ mm}$

3.5.4.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

patní deska ocel S235
 mez kluzu $f_y = 235\text{ MPa}$
 mez pevnosti $f_u = 360\text{ MPa}$

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{m0} = 1,0$

beton beton C20/25
 pevnost v tlaku $f_{ck} = 20\text{ MPa}$

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{mc} = 1,5$

3.5.4.3 ÚNOSNOST V TLAKU

$$a_1 = \min \begin{cases} \frac{a + 2 \cdot a_r}{5 \cdot a} \\ \frac{a + h}{5 \cdot b_1} \end{cases} = \min \begin{cases} \frac{220 + 2 \cdot -}{5 \cdot 220} \\ \frac{220 + 1\,000}{5 \cdot 400} \end{cases} = 1\,100\text{ mm}$$

$$b_1 = \min \begin{cases} \frac{b + 2 \cdot b_r}{5 \cdot b} \\ \frac{b + h}{5 \cdot a_1} \end{cases} = \min \begin{cases} \frac{80 + 2 \cdot 160}{5 \cdot 80} \\ \frac{80 + 1\,000}{5 \cdot 1\,100} \end{cases} = 400\text{ mm}$$

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{1\,100 \cdot 400}{220 \cdot 80}} = 5,00$$

$$f_j = \frac{\beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_{mc}} = \frac{0,67 \cdot 5,00 \cdot 20}{1,5} = 44,7\text{ MPa}$$

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot \gamma_{m0} \cdot f_j}} = 6 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 1,0 \cdot 44,7}} = 7,94\text{ mm}$$

$$A_{eff} = 2 \cdot (a_{pd} + 2 \cdot c) \cdot b_{pd} = 2 \cdot (6 + 2 \cdot 7,94) \cdot 80$$

$$A_{eff} = 3\,501\text{ mm}^2$$

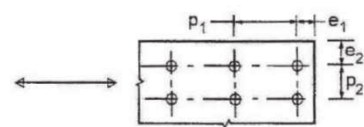
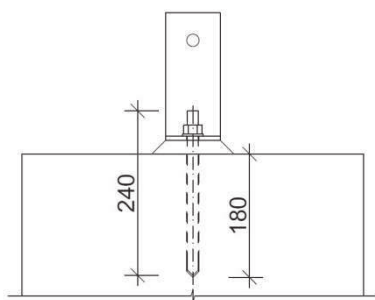
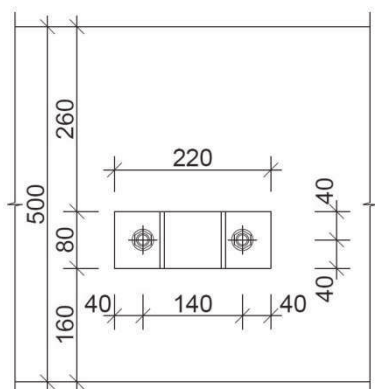
$$F_{Rd,c} = A_{eff} \cdot f_j = 3\,501 \cdot 44,7 = 156,495\text{ KN}$$

$$F_{Ed} = |\min N_d| = 6,504\text{ KN}$$

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,c}$$

$$6,504 \leq 156,495$$

VYHOVÍ (využití 4 %)



3.5.5 KOTEVNÍ ŠROUBY

3.5.5.1 GEOMETRIE

HIT-Z M16 x 240

| | | |
|-------|-----------------------|--------------------------|
| šroub | průměr | $d = 16 \text{ mm}$ |
| | průměr otvoru | $d_0 = 18 \text{ mm}$ |
| | průměr hlavy šroubu | $d_m = 25,9 \text{ mm}$ |
| | průměr v místě závitů | $d_s = 14,1 \text{ mm}$ |
| | plocha jádra | $A_s = 157 \text{ mm}^2$ |
| | hloubka otvoru | $h_o = 180 \text{ mm}$ |
| | tloušťka podložky | $t_p = 3 \text{ mm}$ |
| | počet | $n = 2$ |

| | | |
|-------|----------|--------------------|
| plech | tloušťka | $t = 6 \text{ mm}$ |
|-------|----------|--------------------|

3.5.5.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------|--------------|----------------------------|
| šroub | ocel | 6.8 |
| | mez kluzu | $f_{yb} = 480 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_{ub} = 600 \text{ MPa}$ |
| plech | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |

| | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| součinitele spolehlivosti materiálu | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ |
| | $\gamma_{m2} = 1,25$ |

3.5.5.3 ROZTEČE V PLECHU

$$e_1 = e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 18 = 43,2 \text{ mm}$$

$$\text{volím} \quad e_1 = e_2 = 40 \text{ mm} \quad p_2 = 140 \text{ mm}$$

3.5.5.4 ÚNOSNOST VE STŘIHU

$$\text{počet stříhových rovin} \quad n_s = 1$$

$$F_{v,Rd}' = n_s \cdot \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 157 \cdot 600}{1,25} = 45,216 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot F_{v,Rd}' = 2 \cdot 45,216 = 90,432 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = F_{b,Ed} = \max |V_{z,d}| = 6,240 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$6,240 < 90,432$$

VYHOVÍ (využití 7 %)

3.5.5.5 ÚNOSNOST V OTLAČENÍ

$$\alpha_d = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0} ; \frac{f_{ub}}{f_u} ; 1,0 \right)$$

$$\alpha_d = \min \left(\frac{40}{3 \cdot 18} ; \frac{600}{360} ; 1,0 \right)$$

$$\alpha_d = \min (0,741 ; 1,66 ; 1,0) = 0,741$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 ; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 ; 2,5 \right)$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{40}{18} - 1,7 ; 1,4 \cdot \frac{140}{18} - 1,7 ; 2,5 \right)$$

$$k_1 = \min (4,52 ; 9,19 ; 2,5) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_d \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,741 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 6}{1,25} = 51,218 \text{ KN}$$

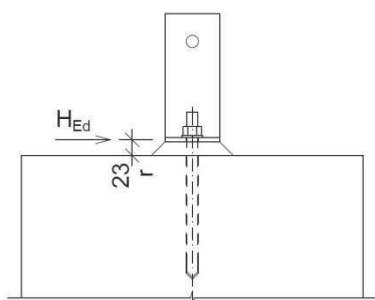
$$F_{b,Rd} = n \cdot F_{b,Rd} = 2 \cdot 51,218 = 102,436 \text{ KN}$$

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$6,240 < 102,436$$

VYHOVÍ (využití 6 %)

3.5.5.6 OHYB



$$I_y = \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot d_s^4 = \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot 14,1^4 = 1,94 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$W_y = W_{el} = \frac{I_y}{(d_s/2)} = \frac{1,94 \cdot 10^3}{(14,1/2)} = 2,75 \cdot 10^2 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{2,75 \cdot 10^2 \cdot 480}{1,00} = 0,132 \text{ KNm}$$

$$H_{Ed} = \max |V_{z,d}| = 6,240 \text{ KN}$$

$$r = t_{pod} + \frac{t}{2} = 20 + \frac{6}{2} = 23 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = \frac{H_{Ed} \cdot r}{n} = \frac{6,240 \cdot 10^3 \cdot 23}{2} = 0,072 \text{ KNm}$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$0,072 < 0,132$$

VYHOVÍ (využití 55 %)

3.5.5.7 KOMBINACE STŘIHU A OHYBU

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1$$

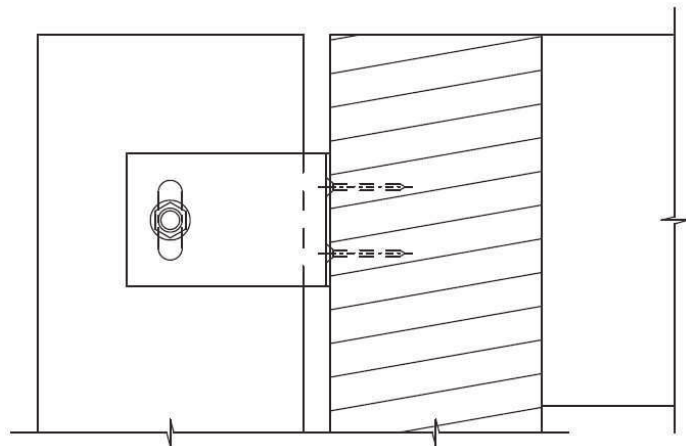
$$\left[\frac{0,072}{0,132} \right]^2 + \left[\frac{6,240}{90,432} \right]^2 \leq 1$$

$$0,302 < 1$$

VYHOVÍ (využití 30 %)

3.6 ULOŽENÍ SLOUPU NA ŽEBRO

spoj je tvořen plechy osazenými na sloup a zajištěnými svorníkem a v místě žebra jsou plechy osazeny na plech uchycený na žebro pomocí vrtů

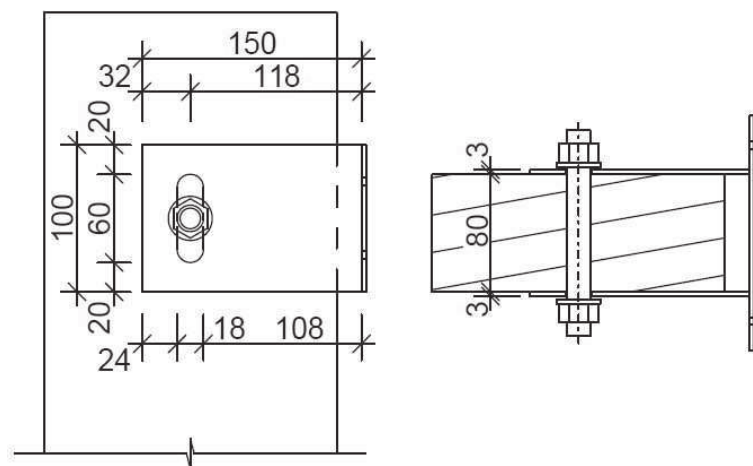


3.6.1 VNITŘNÍ SÍLY

maximální posouvající síla od tlaku $V_{z,d} = 4,039 \text{ KN}$
(sloup I2, J2)
viz C.4.7.4

maximální posouvající síla od sání $V_{z,d} = 6,240 \text{ KN}$
(sloup I1, J1)
viz C.4.7.4

3.6.2 PLECHY OSAZENÉ NA SLOUP



3.6.2.1 GEOMETRIE

| | | |
|-----|----------|---------------------------|
| LLD | šířka | $b = 80 \text{ mm}$ |
| | výška | $h = 200 \text{ mm}$ |
| | tloušťka | $b = t_2 = 80 \text{ mm}$ |

| | | |
|---------|----------|----------------------|
| plech | tloušťka | $t_s = 3 \text{ mm}$ |
| svorník | průměr | $d = 16 \text{ mm}$ |
| | počet | $n = 1$ |

3.6.2.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-----|-----------------------|-----------------------------|
| LLD | dřevo | $GL24h$ |
| | třída provozu | 2 |
| | třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| | hodnota k_{mod} | $k_{mod} = 0,90$ |
| | hustota | $\rho = 380 \text{ kg/m}^3$ |

charakteristická pevnost ve smyku $f_{v,k} = 2,70 \text{ MPa}$

návrhová pevnost ve smyku $f_{v,d} = 1,94 \text{ MPa}$

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_m = 1,3$ (pro spoje)
 $\gamma_m = 1,25$ (pro LLD)

| | | |
|---------|--------------|-----------------------------|
| svorník | ocel | 4.8 |
| | mez kluzu | $f_{y,k} = 320 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_{u,k} = 400 \text{ MPa}$ |

součinitele spolehlivosti materiálu $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$
 $\gamma_{m2} = 1,25$

3.6.2.3 PEVNOST V OTLAČENÍ DŘEVA

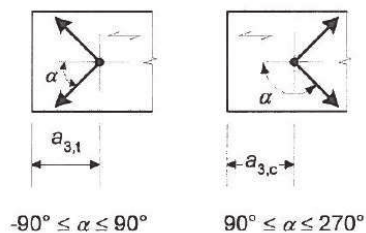
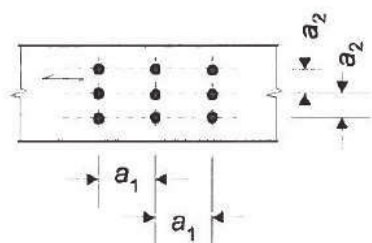
$$F_{v,Ed} = V_{z,d}$$

$$a_1 = (4 + |\cos \alpha|) \cdot d \quad a_2 = 4 \cdot d$$

$$a_{3,t} = \max(7 \cdot d; 80 \text{ mm})$$

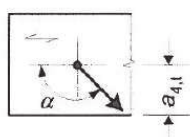
$$a_{3,c} = \max[(1 + 6 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 4 \cdot d]$$

$$a_{4,t} = \max[(2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d] \quad a_{4,c} = 3 \cdot d$$



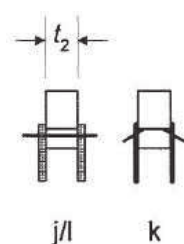
$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$



$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$

| | | maximální posouvající síla od tlaku | maximální posouvající síla od sání |
|------------|----|--|---------------------------------------|
| $F_{v,Ed}$ | KN | 4,039 | 6,240 |
| α | ° | 90,0 | |
| a_1 | mm | 64,0 | |
| a_2 | mm | 64,0 | |
| $a_{3,t}$ | mm | 112,0 | |
| $a_{3,c}$ | mm | 112,0 | |
| $a_{4,t}$ | mm | 64,0 | |
| $a_{4,c}$ | mm | 48,0 | |



$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 16^{2,6} = 162\,141 \text{ Nmm}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 380$$

$$f_{h,0,k} = 26,174 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 16 = 1,59$$

$$f_{h,2,k} = f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$\text{počet stříhových rovin} \quad n_s = 2$$

$$\text{celkový počet svorníků} \quad n = 1$$

$$t < 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 16 = 8 \text{ mm}$$

$$3 \text{ mm} < 8 \text{ mm} \quad \gg \quad \text{tenká deska}$$

pevnost tenké ocelové desky jako vnějšího prvku dvojstřížného spoje

$$F_{v,Rk}' = \min \left\{ \frac{0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d}{1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d}} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \right\}$$

$$F_{v,Rd}' = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}'}{\gamma_m}$$

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd}' \cdot n_s \cdot n$$

$$F_{v,ed} \leq F_{v,Rd}$$

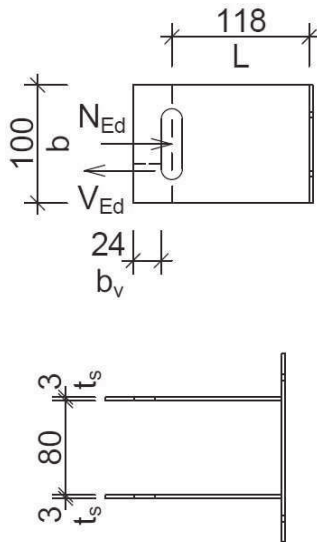
| | | maximální posouvající síla od tlaku | maximální posouvající síla od sání |
|-------------|-------|--|---------------------------------------|
| $f_{h,2,k}$ | MPa | 16,462 | |
| $F_{v,Rk}'$ | (l) | 10,536 | |
| | (k) | 10,628 | |
| $F_{v,Rd}'$ | KN | 7,294 | |
| $F_{v,Rd}$ | KN | 14,588 | |
| $F_{v,ed}$ | KN | 4,039 | 6,240 |
| využití | | 28 % | 43 % |
| | | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

3.6.2.4 SMYK OSLABENÉHO PRŮŘEZU

$$V_d = \max |V_{z,d}| = 6,240 \text{ KN}$$

$$A_{net} = \frac{(h - d_0)}{2} \cdot b = \frac{(200 - 18)}{2} \cdot 80 = 7\,280 \text{ mm}^2$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A_{net}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{6,240 \cdot 10^3}{7\,280} = 1,29 \text{ MPa}$$



$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$1,29 < 1,94$$

vyhoví (využití 66 %)

3.6.3 SVISLÉ PLECHY

3.6.3.1 GEOMETRIE

| | |
|-----------------------|---|
| tloušťka | $t_s = 3 \text{ mm}$ |
| šířka v místě otvoru | $b = 100 \text{ mm}$ |
| šířka účinná ve smyku | $b_v = 24 \text{ mm}$ |
| plocha | $A = b \cdot t_s = 300 \text{ mm}^2$ |
| smyková plocha | $A_v = b_v \cdot t_s = 72 \text{ mm}^2$ |
| poloměr setrvačnosti | $i = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot t_s^2} = 0,866 \text{ mm}$ |
| délka | $L = 118 \text{ mm}$ |
| konzola | $\beta = 2,0$ |
| kritická délka | $L_{cr} = L \cdot \beta = 118 \cdot 2,0 = 236 \text{ mm}$ |

3.6.3.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------------------------------|--------------|---|
| plechy | ocel | S235 |
| | mez kluzu | $f_y = 235 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 360 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ $\gamma_{m2} = 1,25$ |

3.6.3.3 VZPĚR

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{236}{0,866} = 273$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{273}{93,9} = 2,91$$

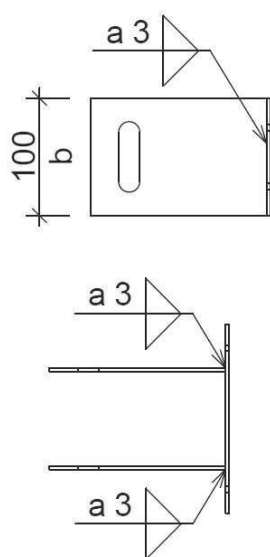
$$\text{křivka vzpěrné pevnosti "c" } \gg \alpha = 0,49$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (2,91 - 0,2) + 2,91^2) = 5,40$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{5,40 + \sqrt{5,40^2 - 2,91^2}} = 0,101$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,101 \cdot 300 \cdot 235}{1,0} = 7,121 \text{ kN}$$



pozn. posouzení vzpěru je vztaženo k maximální posouvající síle od tlaku větru

$$N_{Ed} = \max |V_{z,d}|/2 = 2,020 \text{ KN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

$$2,020 < 7,121$$

VYHOVÍ (využití 28 %)

3.6.3.4 SMYK

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{72 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 9,769 \text{ KN}$$

pozn. posouzení smyku je vztaženo k maximální posouvající síle od sání větru

$$V_{Ed} = \max |V_{z,d}|/2 = 3,120 \text{ KN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$3,120 < 9,769$$

VYHOVÍ (využití 32 %)

3.6.3.5 SVARY

| | |
|---------------------|---|
| účinná výška svaru | $a = 3 \text{ mm}$ |
| počet svarů | $n = 4$ |
| účinná délka svaru | $l_{eff} = b - 2 \cdot a = 100 - 2 \cdot 3 = 94 \text{ mm}$ |
| účinná plocha svaru | $A_w = n \cdot a \cdot l_{eff} = 1\,128 \text{ mm}^2$ |

$$N_{sd} = \max |V_{z,d}| = 6,240 \text{ KN}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{sd}}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{6,240 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 1\,128} = 3,91 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{3,91^2 + 3 \cdot 3,91^2 + 3 \cdot 0^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

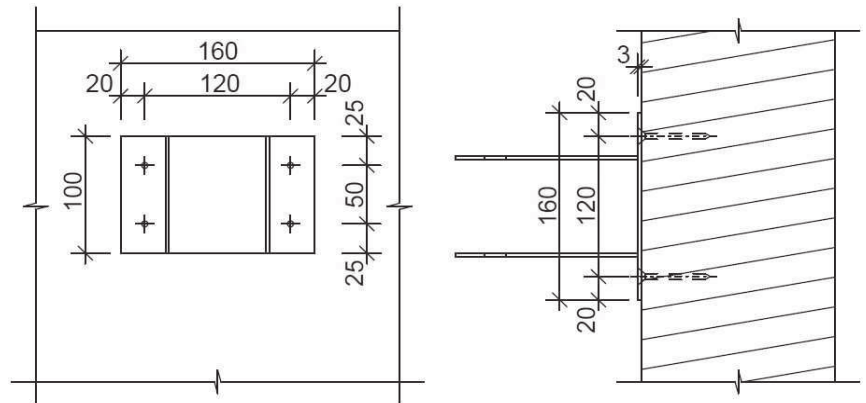
$$7,82 < 360$$

VYHOVÍ (využití 2 %)

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25}$$

$$3,91 < 259$$

VYHOVÍ (využití 2 %)

3.6.4 PLECH OSAZENÝ NA ŽEBRO**3.6.4.1 GEOMETRIE**

| | | |
|-------|-----------------|----------------------------------|
| plech | tloušťka | $t = 3 \text{ mm}$ |
| vrut | průměr | $d = 5 \text{ mm}$ |
| | délka | $l = 60 \text{ mm}$ |
| | efektivní délka | $l_{ef} = l - d = 55 \text{ mm}$ |
| | počet | $n = 2$ |
| | počet spojů | $s = 2$ |

3.6.4.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

| | | |
|-------------------------------------|-----------------------|---|
| LLD | dřevo | GL24h |
| | třída provozu | 2 |
| | třída trvání zatížení | krátkodobé zatížení |
| | hodnota k_{mod} | $k_{mod} = 0,90$ |
| | hustota | $\rho = 380 \text{ kg/m}^3$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | | $\gamma_m = 1,3 \text{ (pro spoje)}$ |
| vrut | ocel | 4.6 |
| | mez kluzu | $f_y = 240 \text{ MPa}$ |
| | mez pevnosti | $f_u = 400 \text{ MPa}$ |
| součinitele spolehlivosti materiálu | | $\gamma_{m0} = \gamma_{m1} = 1,0$ $\gamma_{m2} = 1,25$ |

3.6.4.3 ÚNOSNOST NA VYTAŽENÍ SPOJE

$$F_{ax,Ed} = \frac{V_{z,d}}{s}$$

$$f_{ax,k} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_k^{1,5} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 380^{1,5} = 26,667 \text{ MPa}$$

$\alpha = 90^\circ \gg$ únosnost na vytažení kolmo k vláknům

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha + 1,5 \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{26,667}{\sin^2 90 + 1,5 \cdot \cos^2 90} = 26,667 \text{ MPa}$$

$$n_{ef} = n^{0,9} = 1,87 \gg \text{skupina vrutů je zatížená rovnoběžně s dřívky}$$

$$F_{ax,Rk} = F_{ax,\alpha,k} = n_{ef} \cdot (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{0,8} \cdot f_{ax,\alpha,k}$$

$$F_{ax,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{ax,Rk}}{\gamma_m}$$

| | | |
|-------------|------|---------------------------------------|
| | | maximální posouvající síla od sání |
| $F_{ax,Rk}$ | KN | 11,143 |
| $F_{ax,Rd}$ | KN | 7,714 |
| $F_{ax,Ed}$ | KN | 3,120 |
| využití | | 40 % |
| | | VYHOVÍ |

4 PŘÍLOHY

Společnost:
Projektant: Radek Vojta
Adresa:
Telefon I fax:
E-mail:

Strana: 1
Projekt: Kotvení K1
Dílčí projekt / pozice č.:
Datum: 10.1.2017

Komentář uživatele:
1 Vstupní data

SAFE-ET
Typ a velikost kotvy:
HIT-HY 200-A + HIT-Z M16
Efektivní kotvení hloubka:
 $h_{ef,opti} = 96 \text{ mm}$ ($h_{ef,limit} = 192 \text{ mm}$)

Materiál:

DIN EN ISO 4042

Certifikát č.:

ETA 12/0006

Vydání I Platný:

18.8.2016 | -

Posouzení:

Návrhová metoda ETAG BOND (EOTA TR 029)

Distanční montáž:

bez upnutí (kotva); stupeň zadržení (kotevní deska): 2,00; $e_b = 30 \text{ mm}$; $t = 10 \text{ mm}$
Kotevní deska:

Hilti malta: , víceúčelová, $f_{c,Grout} = 30,00 \text{ N/mm}^2$
 $l_x \times l_y \times t = 280 \text{ mm} \times 320 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$; (Doporučená tloušťka kotevní desky: nepočítána

Profil:

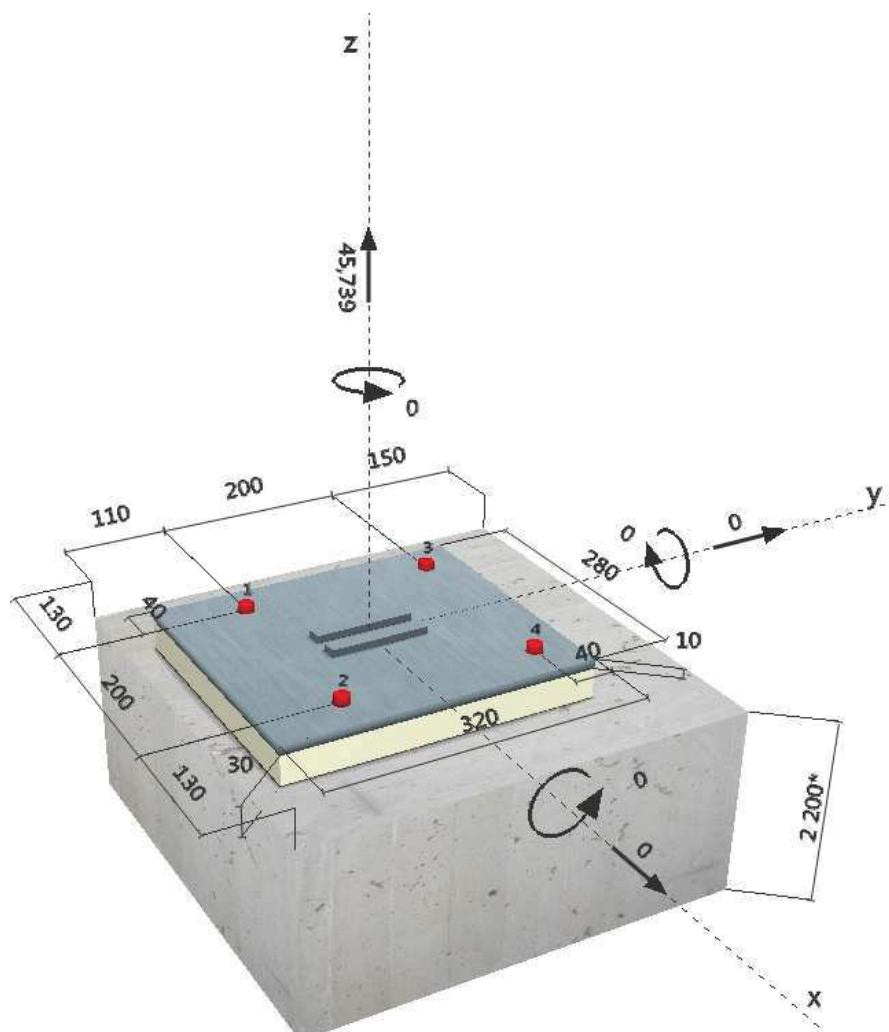
Zdvojený plechový pás; ($V \times \text{Š} \times T$) = $100 \text{ mm} \times 47 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$
Základní materiál:

bez trhlin beton, C25/30, $f_{cc} = 30,00 \text{ N/mm}^2$; $h = 2200 \text{ mm}$, teplota krátkodobá/dlouhodobá: 40/24 °C

Montáž:
kotevní otvor vrtaný přiklepem, montážní podmínky: suché
Výztuž:

Žádná výztuž nebo osová vzdálenost výztuže $\geq 150 \text{ mm}$ (jakýkoliv \emptyset) nebo $\geq 100 \text{ mm}$ ($\emptyset \leq 10 \text{ mm}$)

žádná podélná výztuž okraje

Geometrie [mm] & Zatížení [kN, kNm]


Společnost:
Projektant: Radek Vojta
Adresa:
Telefon I fax: |
E-mail:

Strana: 2
Projekt: Kotvení K1
Dílčí projekt / pozice č.:
Datum: 10.1.2017

2 Zatěžovací stav/Výsledné síly na kotvu

Zatěžovací stav: Návrhové zatížení

Reakce kotvy [kN]

Tahová síla: (+ Tah, - Tlak)

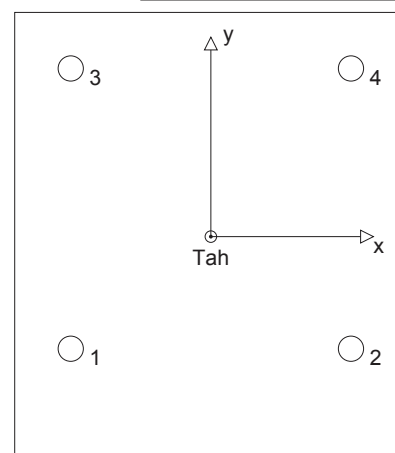
| Kotva | Tahová síla | Smyková síla | Smyková síla x | Smyková síla y |
|-------|-------------|--------------|----------------|----------------|
| 1 | 13,722 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 2 | 13,722 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 3 | 9,148 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 4 | 9,148 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

max. tlakové přetvoření betonu: - [%_o]

max. tlakové napětí v betonu: - [N/mm²]

výsledná tahová síla v (x/y)=(0/0): 45,739 [kN]

výsledná tlaková síla v (x/y)=(0/0): 0,000 [kN]



3 Tahové zatížení (EOTA TR 029, bod 5.2.2)

| | Zatížení [kN] | Únosnost [kN] | Využití β_N [%] | Stav |
|---|---------------|---------------|-----------------------|------|
| Porušení oceli* | 13,722 | 64,000 | 22 | OK |
| Kombinované porušení vytažením - vytržením betonového kuželu** | 45,739 | 172,519 | 27 | OK |
| Porušení vytržením betonového kuželu** | 45,739 | 73,648 | 63 | OK |
| Porušení rozštěpením** | 45,739 | 73,648 | 63 | OK |

* nejnejpříznivější kotva ** skupina kotev (kotvy v tahu)

3.1 Porušení oceli

| $N_{Rk,s}$ [kN] | $\gamma_{M,s}$ | $N_{Rd,s}$ [kN] | N_{Sd} [kN] |
|-----------------|----------------|-----------------|---------------|
| 96,000 | 1,500 | 64,000 | 13,722 |

3.2 Kombinované porušení vytažením - vytržením betonového kuželu

| $A_{p,N}$ [mm ²] | $A_{p,N}^0$ [mm ²] | $\tau_{Rk,ucr,25}$ [N/mm ²] | $s_{cr,Np}$ [mm] | $c_{cr,Np}$ [mm] | c_{min} [mm] |
|------------------------------|--------------------------------|---|------------------|------------------|----------------|
| 202400 | 67600 | 24,00 | 288 | 144 | 110 |
| h_{ef} [mm] | $c_{cr,Np}$ [mm] | $s_{cr,Np}$ [mm] | | | |
| 87 | 130 | 260 | | | |
| $h_{ef,Helix}$ [mm] | ψ_c | $\tau_{Rk,ucr}$ [N/mm ²] | k | $\psi_{g,Np}^0$ | $\psi_{g,Np}$ |
| 96 | 1,000 | 24,00 | 3,200 | 1,000 | 1,000 |
| $e_{c1,N}$ [mm] | $\psi_{ec1,Np}$ | $e_{c2,N}$ [mm] | $\psi_{ec2,Np}$ | $\psi_{s,Np}$ | $\psi_{re,Np}$ |
| 0 | 1,000 | 20 | 0,867 | 0,954 | 1,000 |
| $N_{Rk,p}^0$ [kN] | $N_{Rk,p}$ [kN] | $\gamma_{M,p}$ | $N_{Rd,p}$ [kN] | N_{Sd} [kN] | |
| 104,552 | 258,778 | 1,500 | 172,519 | 45,739 | |

3.3 Porušení vytržením betonového kuželu

| $A_{c,N}$ [mm ²] | $A_{c,N}^0$ [mm ²] | $c_{cr,N}$ [mm] | $s_{cr,N}$ [mm] | | |
|------------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|
| 202400 | 67600 | 144 | 288 | | |
| h_{ef} [mm] | $c_{cr,N}$ [mm] | $s_{cr,N}$ [mm] | | | |
| 87 | 130 | 260 | | | |
| $e_{c1,N}$ [mm] | $\psi_{ec1,N}$ | $e_{c2,N}$ [mm] | $\psi_{ec2,N}$ | $\psi_{s,N}$ | $\psi_{re,N}$ |
| 0 | 1,000 | 20 | 0,867 | 0,954 | 1,000 |
| k ₁ | $N_{Rk,c}^0$ [kN] | $\gamma_{M,c}$ | $N_{Rd,c}$ [kN] | N_{Sd} [kN] | |
| 10,100 | 44,633 | 1,500 | 73,648 | 45,739 | |

Společnost:

Projektant:

Adresa:

Telefon I fax:

E-mail:

Radek Vojta

Strana:

Projekt:

Dílčí projekt / pozice č.:

Datum:

3

Kotvení K1

10.1.2017

3.4 Porušení rozštěpením

| | | | | | | |
|------------------------------|--------------------------------|-------------------|------------------|---------------|---------------|--------|
| $A_{c,N}$ [mm ²] | $A_{c,N}^0$ [mm ²] | $c_{cr,sp}$ [mm] | $s_{cr,sp}$ [mm] | $\psi_{h,sp}$ | | |
| 202400 | 67600 | 144 | 288 | 1,000 | | |
| h_{ef} [mm] | $c'_{cr,sp}$ [mm] | $s'_{cr,sp}$ [mm] | | | | |
| 87 | 130 | 260 | | | | |
| $e_{c1,N}$ [mm] | $\psi_{ec1,N}$ | $e_{c2,N}$ [mm] | $\psi_{ec2,N}$ | $\psi_{s,N}$ | $\psi_{re,N}$ | k_1 |
| 0 | 1,000 | 20 | 0,867 | 0,954 | 1,000 | 10,100 |
| $N_{RK,c}^0$ [kN] | $\gamma_{M,sp}$ | $N_{Rd,sp}$ [kN] | N_{Sd} [kN] | | | |
| 44,633 | 1,500 | 73,648 | 45,739 | | | |

Společnost:
Projektant: Radek Vojta
Adresa:
Telefon I fax: |
E-mail:

Strana: 4
Projekt: Kotvení K1
Dílčí projekt / pozice č.:
Datum: 10.1.2017

4 Smykové zatížení (EOTA TR 029, bod 5.2.3)

| | Zatížení [kN] | Únosnost [kN] | Využití β_v [%] | Stav |
|---|------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| Porušení oceli (bez distanční montáže)* | Není k dispozici | Není k dispozici | Není k dispozici | Není k dispozici |
| Porušení oceli (s distanční montáží)* | Není k dispozici | Není k dispozici | Není k dispozici | Není k dispozici |
| Porušení vylomením betonu* | Není k dispozici | Není k dispozici | Není k dispozici | Není k dispozici |
| Porušení okraje betonu ve směru ** | Není k dispozici | Není k dispozici | Není k dispozici | Není k dispozici |

* nejneprůběžnější kotva ** skupina kotev (rovnocenné kotvy)

5 Posuny (nejvíce zatížená kotva)

Krátkodobé teplotní zatížení:

| | | | | | |
|----------|---|-------------|---------------|---|------------|
| N_{Sk} | = | 10,164 [kN] | δ_N | = | 0,105 [mm] |
| V_{Sk} | = | 0,000 [kN] | δ_V | = | 0,000 [mm] |
| | | | δ_{NV} | = | 0,105 [mm] |

Dlouhodobé teplotní zatížení:

| | | | | | |
|----------|---|-------------|---------------|---|------------|
| N_{Sk} | = | 10,164 [kN] | δ_N | = | 0,274 [mm] |
| V_{Sk} | = | 0,000 [kN] | δ_V | = | 0,000 [mm] |
| | | | δ_{NV} | = | 0,274 [mm] |

Poznámka: Posuny vlivem tahové síly jsou platné při poloviční hodnotě předepsaného utahovacího momentu pro bez trhlin beton! Smykové posuny jsou platné za předpokladu žádného tření mezi betonem a kotevní deskou! Mezery mezi kotvou a vrtaným kotevním otvorem a mezery mezi kotvou a otvorem v kotevní desce nejsou v tomto výpočtu zahrnuty!

Přípustné posuny kotev závisí na připevňované konstrukci a musejí být definovány projektantem!

6 Upozornění

- S přerozdělením zatížení na jednotlivé kotvy vlivem elastických deformací kotevní desky se neuvažuje. Předpokládá se natolik tuhá kotevní deska, u které při zatěžování nedochází k deformacím! Musí být zkontrolováno, zda jsou vstupní data a výsledky v souladu s aktuálními podmínkami a zda jsou věrohodné!
- Kontrolu přenosu zatížení do základního materiálu je požadováno provést v souladu s EOTA TR 029 část 7!
- Návrh je platný pouze v případě, když průměry otvorů pro kotvy v kotevní desce nejsou větší než je stanoveno v EOTA TR029, tabulka 4.1! Komentář ohledně větších otvorů je uveden v EOTA TR029, článek 1.1!
- Seznam příslušenství v tomto protokolu slouží pouze jako informace uživateli. V každém případě je třeba dodržovat návod k použití dodávaný s výrobkem, aby byla zajištěna správná instalace.
- Charakteristická pevnost lepicí hmoty (soudržnost) závisí na krátkodobých a dlouhodobých teplotách.
- Okrajová výztuž není požadovaná pro zabránění porušení rozštěpením.

Upevnění je bezpečné!

Společnost:
Projektant: Radek Vojta
Adresa:
Telefon I fax:
E-mail:

Strana: 5
Projekt: Kotvení K1
Dílčí projekt / pozice č.:
Datum: 10.1.2017

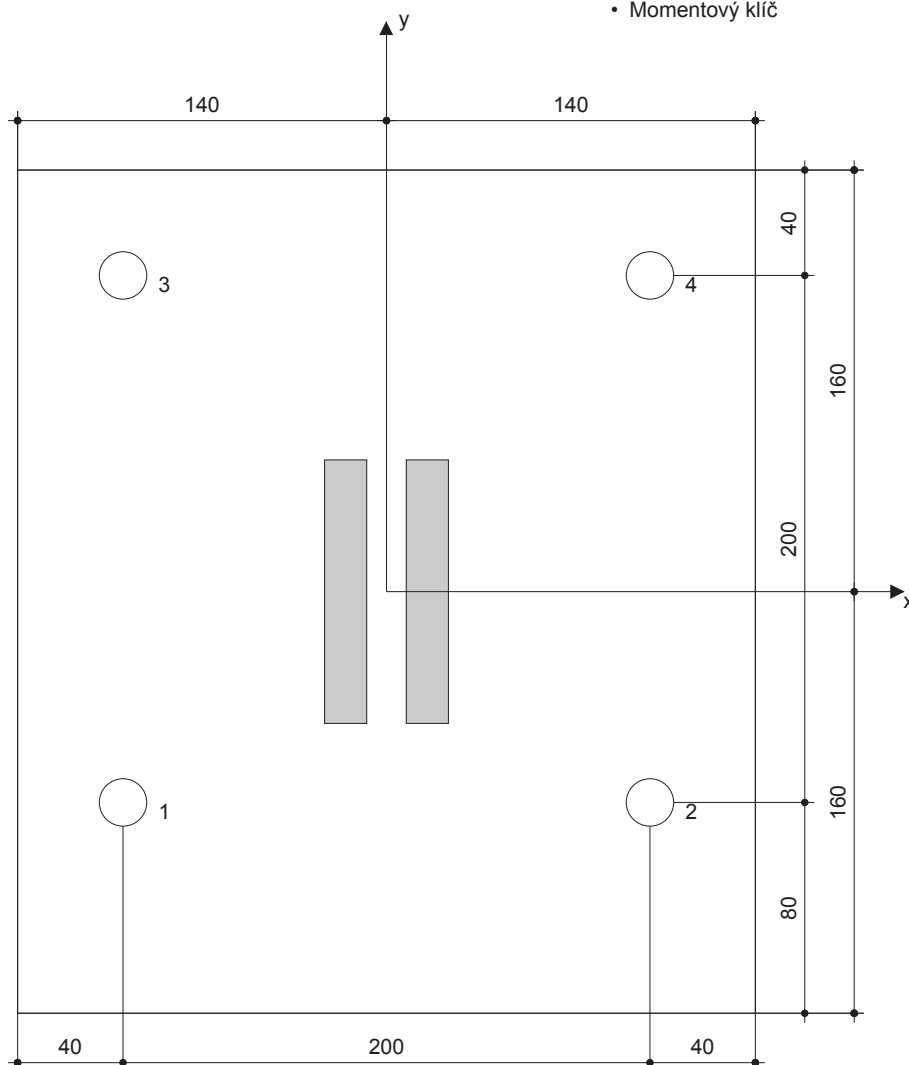
7 Montážní pokyny

Kotevní deska, ocel: -
Profil: Zdvojený plechový pásek; 100 x 47 x 16 mm
Průměr otvoru v kotevní desce: $d_t = 18$ mm
Tloušťka kotevní desky (vstup): 10 mm
Doporučená tloušťka kotevní desky: nepočítána
Metoda vrtání: Vyvrtno přiklepem
Čištění: čištění vyvrtného kotevního otvoru není požadováno.

Typ a velikost kotvy: HIT-HY 200-A + HIT-Z M16
Utahovací moment: 0,080 kNm
Průměr otvoru v základním materiálu: 18 mm
Hloubka kotevního otvoru v základním materiálu: 160 mm
Minimální tloušťka základního materiálu: 196 mm

7.1 Doporučené příslušenství

| Vrtání | Čištění | Osazení |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Vhodná pro vrtací kladivo Vrták správného průměru | <ul style="list-style-type: none"> Příslušenství není požadováno | <ul style="list-style-type: none"> Výtlačovací přístroj včetně vodící kazety a směšovače Hilti seismický set Momentový klíč |



Souřadnice kotev [mm]

| Kotva | x | y | c _{-x} | c _{+x} | c _{-y} | c _{+y} |
|-------|------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | -100 | -80 | 130 | 330 | 110 | 350 |
| 2 | 100 | -80 | 330 | 130 | 110 | 350 |
| 3 | -100 | 120 | 130 | 330 | 310 | 150 |
| 4 | 100 | 120 | 330 | 130 | 310 | 150 |

Společnost:
Projektant: Radek Vojta
Adresa:
Telefon I fax: |
E-mail:

Strana: 6
Projekt: Kotvení K1
Dílčí projekt / pozice č.:
Datum: 10.1.2017

8 Poznámky, požadavky na vaši kooperaci

- Veškeré informace a data obsažená v Softwaru se týkají výhradně použití výrobků Hilti a vycházejí ze zásad, předpisů a bezpečnostních nařízení v souladu s technickými směrnicemi a provozními, montážními a instalačními pokyny společnosti Hilti, jimiž se uživatel musí striktně řídit. Veškerá čísla obsažená v Softwaru představují průměrné hodnoty, a proto je před použitím příslušného výrobku Hilti nutno provést testy pro jeho konkrétní použití. Výsledky výpočtů provedených pomocí Softwaru vycházejí především z vámi zadaných dat. Nesete proto výhradní odpovědnost za bezchybnost, úplnost a relevantnost zadávaných dat. Mimoto nesete výhradní odpovědnost za kontrolu výsledků vzešlých z výpočtů a za to, že si tyto výsledky před jejich použitím pro konkrétní zařízení necháte ověřit a schválit od odborníka, zejména co se týče souladu s příslušnými normami a povoleními. Software slouží pouze jako pomůcka pro interpretaci norem a povolení bez jakékoli záruky ohledně bezchybnosti, přesnosti a relevantnosti výsledků nebo vhodnosti pro konkrétní použití.
- Abyste předešli škodám, které by Software mohl způsobit, nebo omezili jejich rozsah, musíte přijmout veškerá nutná a přiměřená opatření. Obzvláště je třeba pravidelně zálohovat programy a data a v případě potřeby provádět aktualizace Softwaru, které společnost Hilti pravidelně nabízí. Nepoužíváte-li funkci AutoUpdate, která je součástí Softwaru, je nutné zajistit aktuálnost vámi používané verze Softwaru ručními aktualizacemi prostřednictvím internetových stránek společnosti Hilti. Společnost Hilti nenese žádnou zodpovědnost za důsledky vzešlé z vámi zaviněného porušení povinností, jako je například nutnost obnovy ztracených či poškozených dat nebo programů.

Společnost:
Projektant: Radek Vojta
Adresa:
Telefon I fax:
E-mail:

Strana: 1
Projekt: K2
Dílčí projekt / pozice č.:
Datum: 10.1.2017

Komentář uživatele:

1 Vstupní data

Typ a velikost kotvy:

HIT-HY 200-A + HIT-Z M16

Efektivní kotvení hloubka:

$h_{ef,opti} = 96 \text{ mm}$ ($h_{ef,limit} = 192 \text{ mm}$)

Materiál:

DIN EN ISO 4042

Certifikát č.:

ETA 12/0006

Vydání I Platný:

18.8.2016 | -

Posouzení:

Návrhová metoda ETAG BOND (EOTA TR 029)

Distanční montáž:

bez upnutí (kotva); stupeň zadržení (kotevní deska): 2,00; $e_b = 30 \text{ mm}$; $t = 10 \text{ mm}$

Kotevní deska:

Hilti malta: , víceúčelová, $f_{c,Grout} = 30,00 \text{ N/mm}^2$

$l_x \times l_y \times t = 280 \text{ mm} \times 280 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$; (Doporučená tloušťka kotevní desky: nepočítána

Profil:

Zdvojený plechový pás; ($V \times \text{Š} \times T$) = $100 \text{ mm} \times 47 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$

Základní materiál:

bez trhlin beton, C25/30, $f_{cc} = 30,00 \text{ N/mm}^2$; $h = 2200 \text{ mm}$, teplota krátkodobá/dlouhodobá: 40/24 °C

Montáž:

kotevní otvor vrtaný přiklepem, montážní podmínky: suché

Výztuž:

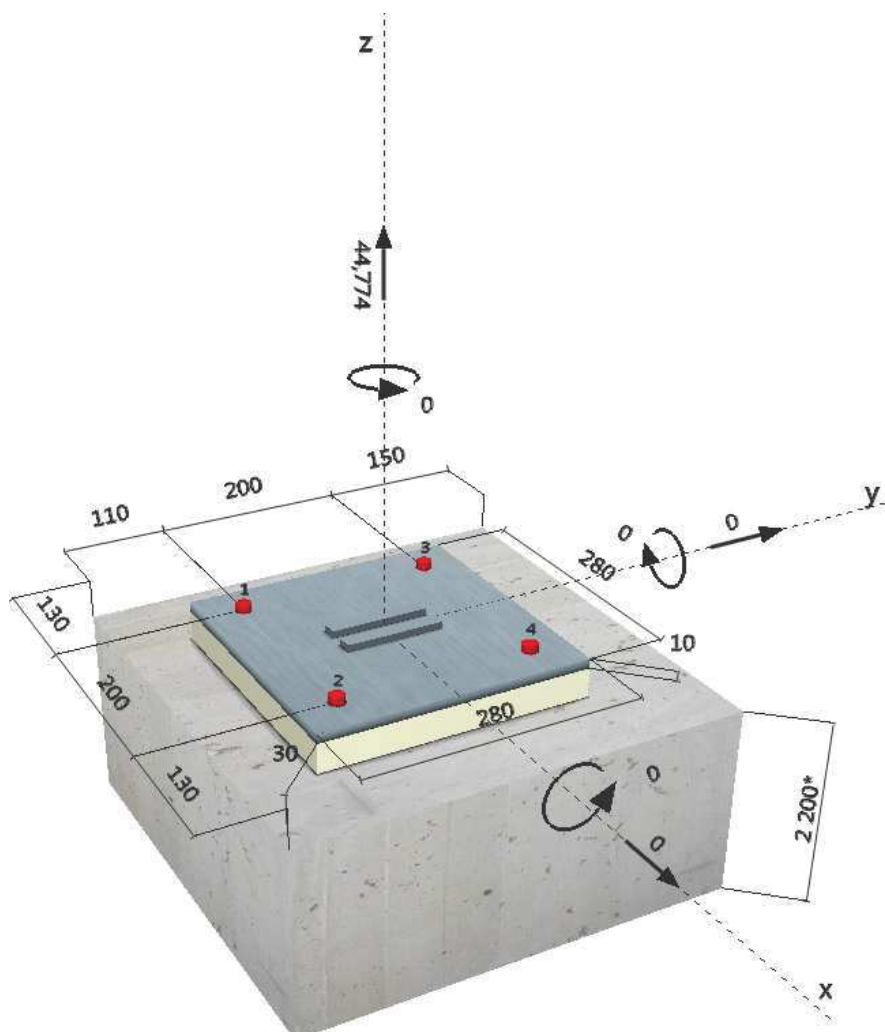
Žádná výztuž nebo osová vzdálenost výztuže $\geq 150 \text{ mm}$ (jakýkoliv \emptyset) nebo $\geq 100 \text{ mm}$ ($\emptyset \leq 10 \text{ mm}$)

žádná podélná výztuž okraje



SAFE-ET

Geometrie [mm] & Zatížení [kN, kNm]



Společnost:
Projektant: Radek Vojta
Adresa:
Telefon I fax: |
E-mail:

Strana: 2
Projekt: K2
Dílčí projekt / pozice č.:
Datum: 10.1.2017

2 Zatěžovací stav/Výsledné síly na kotvu

Zatěžovací stav: Návrhové zatížení

Reakce kotvy [kN]

Tahová síla: (+ Tah, - Tlak)

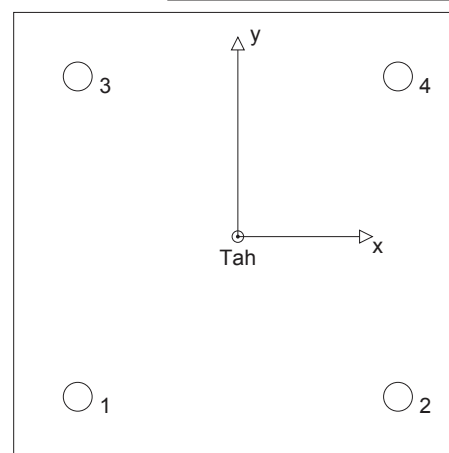
| Kotva | Tahová síla | Smyková síla | Smyková síla x | Smyková síla y |
|-------|-------------|--------------|----------------|----------------|
| 1 | 11,194 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 2 | 11,194 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 3 | 11,194 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 4 | 11,194 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

max. tlakové přetvoření betonu: - [%_o]

max. tlakové napětí v betonu: - [N/mm²]

výsledná tahová síla v (x/y)=(0/0): 44,774 [kN]

výsledná tlaková síla v (x/y)=(0/0): 0,000 [kN]



3 Tahové zatížení (EOTA TR 029, bod 5.2.2)

| | Zatížení [kN] | Únosnost [kN] | Využití β _N [%] | Stav |
|---|---------------|---------------|----------------------------|------|
| Porušení oceli* | 11,194 | 64,000 | 18 | OK |
| Kombinované porušení vytažením - vytržením betonového kuželu** | 44,774 | 199,060 | 23 | OK |
| Porušení vytržením betonového kuželu** | 44,774 | 84,979 | 53 | OK |
| Porušení rozštěpením** | 44,774 | 84,979 | 53 | OK |

* nejnejpříznivější kotva ** skupina kotev (kotvy v tahu)

3.1 Porušení oceli

| N _{Rk,s} [kN] | γ _{M,s} | N _{Rd,s} [kN] | N _{Sd} [kN] |
|------------------------|------------------|------------------------|----------------------|
| 96,000 | 1,500 | 64,000 | 11,194 |

3.2 Kombinované porušení vytažením - vytržením betonového kuželu

| A _{p,N} [mm ²] | A _{p,N} ⁰ [mm ²] | τ _{Rk,ucr,25} [N/mm ²] | s _{cr,Np} [mm] | c _{cr,Np} [mm] | c _{min} [mm] |
|-------------------------------------|--|---|-------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| 202400 | 67600 | 24,00 | 288 | 144 | 110 |
| h _{ef} [mm] | c _{cr,Np} [mm] | s _{cr,Np} [mm] | | | |
| 87 | 130 | 260 | | | |
| h _{ef,Helix} [mm] | ψ _c | τ _{Rk,ucr} [N/mm ²] | k | ψ _{g,Np} ⁰ | ψ _{g,Np} |
| 96 | 1,000 | 24,00 | 3,200 | 1,000 | 1,000 |
| e _{c1,N} [mm] | ψ _{ec1,Np} | e _{c2,N} [mm] | ψ _{ec2,Np} | ψ _{s,Np} | ψ _{re,Np} |
| 0 | 1,000 | 0 | 1,000 | 0,954 | 1,000 |
| N _{Rk,p} ⁰ [kN] | N _{Rk,p} [kN] | γ _{M,p} | N _{Rd,p} [kN] | N _{Sd} [kN] | |
| 104,552 | 298,590 | 1,500 | 199,060 | 44,774 | |

3.3 Porušení vytržením betonového kuželu

| A _{c,N} [mm ²] | A _{c,N} ⁰ [mm ²] | c _{cr,N} [mm] | s _{cr,N} [mm] | | |
|-------------------------------------|--|------------------------|------------------------|----------------------|-------------------|
| 202400 | 67600 | 144 | 288 | | |
| h _{ef} [mm] | c _{cr,N} [mm] | s _{cr,N} [mm] | | | |
| 87 | 130 | 260 | | | |
| e _{c1,N} [mm] | ψ _{ec1,N} | e _{c2,N} [mm] | ψ _{ec2,N} | ψ _{s,N} | ψ _{re,N} |
| 0 | 1,000 | 0 | 1,000 | 0,954 | 1,000 |
| k ₁ | N _{Rk,c} ⁰ [kN] | γ _{M,c} | N _{Rd,c} [kN] | N _{Sd} [kN] | |
| 10,100 | 44,633 | 1,500 | 84,979 | 44,774 | |

Společnost:
Projektant: Radek Vojta
Adresa:
Telefon I fax: |
E-mail:

Strana: 3
Projekt: K2
Dílčí projekt / pozice č.:
Datum: 10.1.2017

3.4 Porušení rozštěpením

| | | | | | | |
|------------------------------|--------------------------------|-------------------|------------------|---------------|---------------|--------|
| $A_{c,N}$ [mm ²] | $A_{c,N}^0$ [mm ²] | $c_{cr,sp}$ [mm] | $s_{cr,sp}$ [mm] | $\psi_{h,sp}$ | | |
| 202400 | 67600 | 144 | 288 | 1,000 | | |
| h_{ef} [mm] | $c_{cr,sp}'$ [mm] | $s_{cr,sp}'$ [mm] | | | | |
| 87 | 130 | 260 | | | | |
| $e_{c1,N}$ [mm] | $\psi_{ec1,N}$ | $e_{c2,N}$ [mm] | $\psi_{ec2,N}$ | $\psi_{s,N}$ | $\psi_{re,N}$ | k_1 |
| 0 | 1,000 | 0 | 1,000 | 0,954 | 1,000 | 10,100 |
| $N_{RK,c}^0$ [kN] | $\gamma_{M,sp}$ | $N_{Rd,sp}$ [kN] | N_{Sd} [kN] | | | |
| 44,633 | 1,500 | 84,979 | 44,774 | | | |

Společnost:
Projektant: Radek Vojta
Adresa:
Telefon I fax: |
E-mail:

Strana: 4
Projekt: K2
Dílčí projekt / pozice č.:
Datum: 10.1.2017

4 Smykové zatížení (EOTA TR 029, bod 5.2.3)

| | Zatížení [kN] | Únosnost [kN] | Využití β_v [%] | Stav |
|---|------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| Porušení oceli (bez distanční montáže)* | Není k dispozici | Není k dispozici | Není k dispozici | Není k dispozici |
| Porušení oceli (s distanční montáží)* | Není k dispozici | Není k dispozici | Není k dispozici | Není k dispozici |
| Porušení vylomením betonu* | Není k dispozici | Není k dispozici | Není k dispozici | Není k dispozici |
| Porušení okraje betonu ve směru ** | Není k dispozici | Není k dispozici | Není k dispozici | Není k dispozici |

* nejneprůběžnější kotva ** skupina kotev (rovnocenné kotvy)

5 Posuny (nejvíce zatížená kotva)

Krátkodobé teplotní zatížení:

| | | | | | |
|----------|---|------------|---------------|---|------------|
| N_{Sk} | = | 8,291 [kN] | δ_N | = | 0,086 [mm] |
| V_{Sk} | = | 0,000 [kN] | δ_V | = | 0,000 [mm] |
| | | | δ_{NV} | = | 0,086 [mm] |

Dlouhodobé teplotní zatížení:

| | | | | | |
|----------|---|------------|---------------|---|------------|
| N_{Sk} | = | 8,291 [kN] | δ_N | = | 0,223 [mm] |
| V_{Sk} | = | 0,000 [kN] | δ_V | = | 0,000 [mm] |
| | | | δ_{NV} | = | 0,223 [mm] |

Poznámka: Posuny vlivem tahové síly jsou platné při poloviční hodnotě předepsaného utahovacího momentu pro bez trhlin beton! Smykové posuny jsou platné za předpokladu žádného tření mezi betonem a kotevní deskou! Mezery mezi kotvou a vrtaným kotevním otvorem a mezery mezi kotvou a otvorem v kotevní desce nejsou v tomto výpočtu zahrnuty!

Přípustné posuny kotev závisí na připevňované konstrukci a musejí být definovány projektantem!

6 Upozornění

- S přerozdělením zatížení na jednotlivé kotvy vlivem elastických deformací kotevní desky se neuvažuje. Předpokládá se natolik tuhá kotevní deska, u které při zatěžování nedochází k deformacím! Musí být zkontrolováno, zda jsou vstupní data a výsledky v souladu s aktuálními podmínkami a zda jsou věrohodné!
- Kontrolu přenosu zatížení do základního materiálu je požadováno provést v souladu s EOTA TR 029 část 7!
- Návrh je platný pouze v případě, když průměry otvorů pro kotvy v kotevní desce nejsou větší než je stanoveno v EOTA TR029, tabulka 4.1! Komentář ohledně větších otvorů je uveden v EOTA TR029, článek 1.1!
- Seznam příslušenství v tomto protokolu slouží pouze jako informace uživateli. V každém případě je třeba dodržovat návod k použití dodávaný s výrobkem, aby byla zajištěna správná instalace.
- Charakteristická pevnost lepicí hmoty (soudržnost) závisí na krátkodobých a dlouhodobých teplotách.
- Okrajová výztuž není požadovaná pro zabránění porušení rozštěpením.

Upevnění je bezpečné!

Společnost:
Projektant: Radek Vojta
Adresa:
Telefon I fax: |
E-mail:

Strana: 5
Projekt: K2
Dílčí projekt / pozice č.:
Datum: 10.1.2017

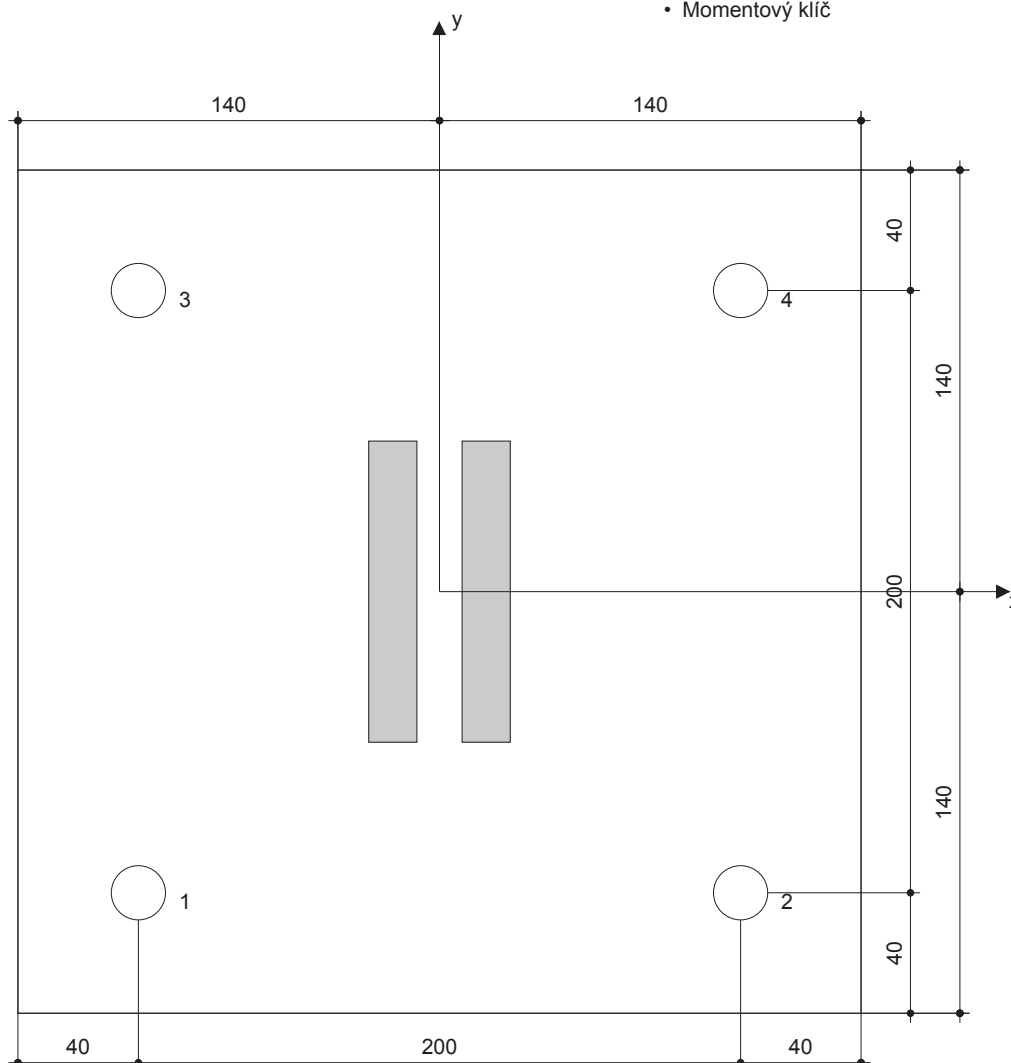
7 Montážní pokyny

Kotevní deska, ocel: -
Profil: Zdvojený plechový pásek; 100 x 47 x 16 mm
Průměr otvoru v kotevní desce: $d_t = 18$ mm
Tloušťka kotevní desky (vstup): 10 mm
Doporučená tloušťka kotevní desky: nepočítána
Metoda vrtání: Vyvrtáno přiklepem
Čištění: čištění vyvrtaného kotevního otvoru není požadováno.

Typ a velikost kotvy: HIT-HY 200-A + HIT-Z M16
Utahovací moment: 0,080 kNm
Průměr otvoru v základním materiálu: 18 mm
Hloubka kotevního otvoru v základním materiálu: 160 mm
Minimální tloušťka základního materiálu: 196 mm

7.1 Doporučené příslušenství

| Vrtání | Čištění | Osazení |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Vhodná pro vrtací kladivo Vrták správného průměru | <ul style="list-style-type: none"> Příslušenství není požadováno | <ul style="list-style-type: none"> Výtlačovací přístroj včetně vodící kazety a směšovače Hilti seismický set Momentový klíč |



Souřadnice kotev [mm]

| Kotva | x | y | c _{-x} | c _{+x} | c _{-y} | c _{+y} |
|-------|------|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | -100 | -100 | 130 | 330 | 110 | 350 |
| 2 | 100 | -100 | 330 | 130 | 110 | 350 |
| 3 | -100 | 100 | 130 | 330 | 310 | 150 |
| 4 | 100 | 100 | 330 | 130 | 310 | 150 |

Společnost:
Projektant: Radek Vojta
Adresa:
Telefon I fax: |
E-mail:

Strana: 6
Projekt: K2
Dílčí projekt / pozice č.:
Datum: 10.1.2017

8 Poznámky, požadavky na vaši kooperaci

- Veškeré informace a data obsažená v Softwaru se týkají výhradně použití výrobků Hilti a vycházejí ze zásad, předpisů a bezpečnostních nařízení v souladu s technickými směrnicemi a provozními, montážními a instalačními pokyny společnosti Hilti, jimiž se uživatel musí striktně řídit. Veškerá čísla obsažená v Softwaru představují průměrné hodnoty, a proto je před použitím příslušného výrobku Hilti nutno provést testy pro jeho konkrétní použití. Výsledky výpočtů provedených pomocí Softwaru vycházejí především z vámi zadaných dat. Nesete proto výhradní odpovědnost za bezchybnost, úplnost a relevantnost zadávaných dat. Mimoto nesete výhradní odpovědnost za kontrolu výsledků vzešlých z výpočtů a za to, že si tyto výsledky před jejich použitím pro konkrétní zařízení necháte ověřit a schválit od odborníka, zejména co se týče souladu s příslušnými normami a povoleními. Software slouží pouze jako pomůcka pro interpretaci norem a povolení bez jakékoli záruky ohledně bezchybnosti, přesnosti a relevantnosti výsledků nebo vhodnosti pro konkrétní použití.
- Abyste předešli škodám, které by Software mohl způsobit, nebo omezili jejich rozsah, musíte přijmout veškerá nutná a přiměřená opatření. Obzvláště je třeba pravidelně zálohovat programy a data a v případě potřeby provádět aktualizace Softwaru, které společnost Hilti pravidelně nabízí. Nepoužíváte-li funkci AutoUpdate, která je součástí Softwaru, je nutné zajistit aktuálnost vámi používané verze Softwaru ručními aktualizacemi prostřednictvím internetových stránek společnosti Hilti. Společnost Hilti nenese žádnou zodpovědnost za důsledky vzešlé z vámi zaviněného porušení povinností, jako je například nutnost obnovy ztracených či poškozených dat nebo programů.

HIT-HY 200 pro lepené kotvy do betonu

Inovativní hybridní lepicí hmota určená pro těžké kotvení s unikátními kotevními šrouby HIT-Z, standardními kotevními šrouby HIT-V, závitovými tyčemi, závitovými pouzdry HIS-N a pro dodatečné vlepení výztuží do betonu

Základní materiál:

- Beton s trhlinami
- Beton bez trhlin

Použití:

- Kotvení nosných ocelových konstrukcí, sloupů
- Kotvení pomocné ocelové konstrukce, schodiště
- Zábradlí, bezpečnostní bariéry
- Dodatečné vlepení výztuží

Výhody:

- První chemická kotva na trhu bez nutnosti čištění v případě použití HIT-Z kotevního šroubu
- Odstranění nutnosti čištění v případě vrtání dutými vrtáky TE-CD/TE-YD
- Rychleutuhnoucí hmota s řadou technických certifikací a jednou z největších únosností na trhu
- Vysoké únosnosti s kotevními šrouby HIT-Z v betonu s trhlinami
- Možnost osazení HIT-Z šroubů do diamantem vrtaných otvorů s čištěním tlakovou vodou
- Dvě varianty lepicí hmoty pro různé doby zpracování a vytvrzení
- Variabilní kotevní hloubka závislejší na požadované únosnosti – úspora času a nákladů
- Možnost dodatečného vlepení výztuží
- Širší rozsah montážních teplot od -10 °C do +40 °C s HIT-V šroubem, pouzdem HIS-N a výztuží
- Neobsahuje nebezpečné chemické látky, splňuje zdravotní a bezpečnostní požadavky pro použití, skladování a přepravu
- Nový Hilti PROFIS software pro rychlé a spolehlivé navrhování
- Odolnost vůči seismickému namáhání



HIT-HY 200-A pro kotevní aplikace

= kratký čas pro zpracování a vytvrzení při osazení kotevních šroubů

HIT-HY 200-R pro dodatečně vlepovanou výztuž

= delší čas pro zpracování a vytvrzení při vlepení betonářských výztuží

HIT-HY 200-A lepená kotva do betonu

| Označení | Objem balení (ml) | Objednací množství (ks) | Č. výrobku |
|--------------------------|-------------------|-------------------------|------------|
| HIT-HY 200-A | 330 | 1 | 2022 696 |
| HIT-HY 200-A + Hilti box | 330 | 20 | 2063 108 |
| HIT-HY 200-A | 500 | 1 | 2022 697 |
| HIT-HY 200-A + Hilti box | 500 | 10 | 2074 483 |
| HIT-HY 200-A + Hilti box | 500 | 20 | 2049 186 |

HIT-HY 200-R lepená kotva do betonu

| Označení | Objem balení (ml) | Objednací množství (ks) | Č. výrobku |
|--------------------------|-------------------|-------------------------|------------|
| HIT-HY 200-R | 330 | 1 | 2022 699 |
| HIT-HY 200-R + Hilti box | 330 | 20 | 2074 485 |
| HIT-HY 200-R | 500 | 1 | 2022 790 |
| HIT-HY 200-R + Hilti box | 500 | 10 | 2074 486 |
| HIT-HY 200-R + Hilti box | 500 | 20 | 2074 487 |

* 330 a 500 ml obsahuje 2 ks statických směšovačů

HIT-RE M směšovač

| Označení | Objednací množství (ks) | Č. výrobku |
|----------|-------------------------|------------|
| HIT-RE M | 1 | 337 111 |



Vytlačovací přístroje
na str. 80



SAFEset


Technická data pro použití HIT-HY 200 s kotevním šroubem HIT-Z

| | | | | | | |
|-----------------------------------|--|---------|----------|----------|----------|----------|
| Data jsou kompatibilní s | ETA 12/0006 (HIT-HY 200-A) a EOTA TR 029 ETA 12/0028 (HIT-HY 200-R) a EOTA TR 029 | | | | | |
| Základní materiál | Beton > C20/25 (B25), přiklepem nebo diamantem vrtaný kotevní otvor | | | | | |
| HIT-Z šroub | | M8 | M10 | M12 | M16 | M20 |
| Průměr vrtání | d_0 [mm] | 10 | 12 | 14 | 18 | 22 |
| Průměr otvoru v kotevní desce | $d_f \leq$ [mm] | 9*/11** | 12*/14** | 14*/16** | 18*/20** | 22*/24** |
| Efektivní kotevní hloubka | h_{ef} [mm] | 70 | 90 | 110 | 145 | 180 |
| Vzdálenost od okraje | $c_{cr,sp}$ [mm] | 175 | 260 | 345 | 410 | 560 |
| Osová vzdálenost | $s_{cr,sp}$ [mm] | 350 | 520 | 690 | 820 | 1120 |
| Minimální vzdálenost od okraje | c_{min} [mm] | 40 | 50 | 60 | 80 | 100 |
| Minimální osová vzdálenost | s_{min} [mm] | 40 | 50 | 60 | 80 | 100 |
| Minimální tloušťka betonu | h_{min} [mm] | 130 | 150 | 170 | 245 | 280 |
| Utahovací moment | T_{inst} [Nm] | 10 | 25 | 40 | 80 | 150 |
| Orientační spotřeba kotvicí hmoty | [ml] | 4 | 7 | 10 | 19 | 32 |
| Beton bez trhlin | | | | | | |
| Dovolené namáhání v tahu | N_{rec} [kN] | 11,4 | 18,1 | 25,9 | 42,0 | 58,1 |
| Dovolené namáhání ve smyku | V_{rec} [kN] | 6,9 | 10,9 | 15,4 | 27,4 | 41,7 |
| Návrhová únosnost v tahu | N_{Rd} [kN] | 16,0 | 25,3 | 36,2 | 58,8 | 81,3 |
| Návrhová únosnost ve smyku | V_{Rd} [kN] | 9,6 | 15,2 | 21,6 | 38,4 | 58,4 |
| Beton s trhlinami | | | | | | |
| Dovolené namáhání v tahu | N_{rec} [kN] | 10,0 | 14,6 | 19,8 | 29,9 | 41,4 |
| Dovolené namáhání ve smyku | V_{rec} [kN] | 6,9 | 10,9 | 15,4 | 27,4 | 41,7 |
| Návrhová únosnost v tahu | N_{Rd} [kN] | 14,1 | 20,5 | 27,7 | 41,9 | 58,0 |
| Návrhová únosnost ve smyku | V_{Rd} [kN] | 9,6 | 15,2 | 21,6 | 38,4 | 58,4 |



* v případě převlečné montáže
** v případě průvlekové montáže

Podmínky platnosti: Hodnoty dovoleného namáhání a návrhové únosnosti jsou platné pro jednu samostatnou kotvu bez vlivu vzdálenosti od okraje a pro kotevní hloubku a tloušťku základního materiálu, které jsou uvedeny v tabulce.

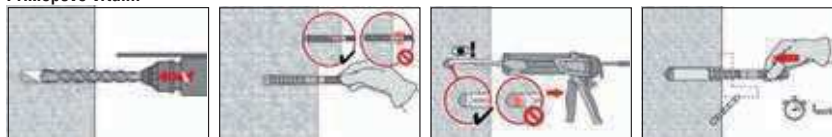
Max. dlouhodobá provozní teplota 24°C, max. krátkodobá provozní teplota 40°C. Přiklepem nebo diamantem vrtaný otvor v suchém nebo vlhkém betonu. Kotevní šroub HIT-Z – kvalita oceli 6.8. Pro podrobnější informace použijte Fastening Technology Manual nebo Hilti PROFIS Anchor návrhový software.

Doby pro zpracování a vytvrzení:

| Teplota | HIT-HY 200-A | | HIT-HY 200-R | |
|---------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | Doba pro zpracování T_{gel} | Doba pro vytvrzení T_{cure} | Doba pro zpracování T_{gel} | Doba pro vytvrzení T_{cure} |
| +5 °C | 25 min | 2 h | 1 h | 3 h |
| +10 °C | 15 min | 1 h | 40 min | 2 h |
| +20 °C | 7 min | 30 min | 15 min | 1 h |
| +30 °C | 4 min | 30 min | 9 min | 1 h |
| +40 °C | 3 min | 30 min | 6 min | 1 h |

Postup osazování:

Přiklepové vrtání:

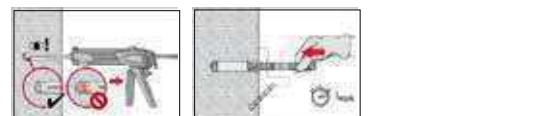


1. Vrtání otvoru přiklepovým vrtákem
2. Kontrola hloubky osazení
3. Vytlačení lepicí hmoty HIT-HY 200
4. Osazení šroubu HIT-Z

Diamantové vrtání:



1. Vrtání otvoru diamantovou korunkou
2. Čištění tlakovou vodou ode dna
3. Vyfoukání stlačeným vzduchem
4. Kontrola hloubky osazení



5. Vytlačení lepicí hmoty HIT-HY 200
6. Osazení šroubu HIT-Z

HIT-Z kotevní šroub bez nutnosti čištění

Dodáváno včetně šetihřanné matky a podložky

Materiál: galvanický pozink 6.8, nerezová ocel A4

| Závít | Užitná délka (mm) ¹⁾ | Délka šroubu (mm) | Vrtaný Ø d_0 (mm) | Baleno ks | Označení | Č. výrobku HIT-Z galv. zinek | Č. výrobku HIT-RZ nerez A4 |
|------------|---------------------------------|-------------------|---------------------|-----------|----------------------|------------------------------|----------------------------|
| M8 | 65 | 80 | 10 | 40 | HIT-Z M8x80 | 2018364 | 2018422 |
| M8 | 85 | 100 | 10 | 40 | HIT-Z M8x100 | 2018365 | 2018423 |
| M8 | 105 | 120 | 10 | 40 | HIT-Z M8x120 | 2018366 | 2018424 |
| M10 | 78 | 95 | 12 | 40 | HIT-Z M10x95 | 2018367 | 2018425 |
| M10 | 98 | 115 | 12 | 40 | HIT-Z M10x115 | 2018368 | 2018426 |
| M10 | 118 | 135 | 12 | 40 | HIT-Z M10x135 | 2018369 | 2018427 |
| M10 | 143 | 160 | 12 | 40 | HIT-Z M10x160 | 2018410 | 2018428 |
| M12 | 86 | 105 | 14 | 20 | HIT-Z M12x105 | 2018411 | 2018429 |
| M12 | 121 | 140 | 14 | 20 | HIT-Z M12x140 | 2018412 | 2018430 |
| M12 | 136 | 155 | 14 | 20 | HIT-Z M12x155 | 2018413 | 2018431 |
| M12 | 177 | 196 | 14 | 20 | HIT-Z M12x196 | 2018415 | 2018433 |
| M16 | 132 | 155 | 18 | 12 | HIT-Z M16x155 | 2018416 | 2018434 |
| M16 | 152 | 175 | 18 | 12 | HIT-Z M16x175 | 2018417 | 2018435 |
| M16 | 182 | 205 | 18 | 12 | HIT-Z M16x205 | 2018418 | 2018436 |
| M16 | 217 | 240 | 18 | 12 | HIT-Z M16x240 | 2018419 | 2018437 |
| M20 | 188 | 215 | 22 | 6 | HIT-Z M20x215 | 2018420 | 2018438 |
| M20 | 223 | 250 | 22 | 6 | HIT-Z M20x250 | 2018421 | 2018439 |

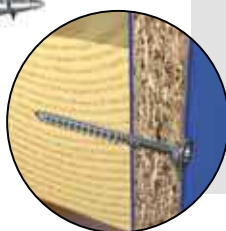
1) Užitná délka = délka kotevního šroubu po odečtení tloušťky matice a podložky



VRUTY DO DŘEVA POWER FAST



PŘEHLED



Výhody:

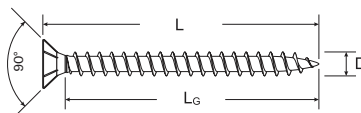
- velmi ostrá špička vrutu se bez předvrtání a bez sebemenší námahy extrémně rychle zavrtává do materiálu
- dvojitý závit zamezuje rozštípnutí dřeva hlavně na jeho konci, napomáhá rychlejšímu odvádění materiálu ze špičky
- čistá práce díky frézovacím drážkám pod hlavou, pomáhají proti protočení v materiálu
- náběh pod hlavou vrutu proti ukroucení v nejnamáhavějším místě
- díky snadnému šroubování větší výdrž aku baterií
- široký sortiment velikostí a povrchových úprav
- u vrutů s částečným závitem je frézka až od délky 50mm
- čistá práce s vrutem
- voskované



TECHNICKÉ ÚDAJE



FPF-SZ YZF



- zápusťná hlava
- drážka: Pozidrive PZ
- materiál: uhlíková ocel
- povrch: galvanický žlutý zinek
- CELÝ ZÁVIT

| katalogové číslo | typ | závit D [mm] | délka závitu L _G [mm] | celková délka L [mm] | drážka | balení kusů |
|------------------|------------------------|--------------------|--|----------------------------|--------|-------------|
| 653003 | FPF-SZ 2,0x12 YZF 200 | 2.0 | 9 | 12 | PZ1 | 200 |
| 653005 | FPF-SZ 2,0x16 YZF 200 | 2.0 | 13 | 16 | PZ1 | 200 |
| 653012 | FPF-SZ 2,5x12 YZF 200 | 2.5 | 9 | 12 | PZ1 | 200 |
| 653016 | FPF-SZ 2,5x16 YZF 300 | 2.5 | 13 | 16 | PZ1 | 300 |
| 653020 | FPF-SZ 2,5x20 YZF 300 | 2.5 | 17 | 20 | PZ1 | 300 |
| 653023 | FPF-SZ 2,5x25 YZF 300 | 2.5 | 22 | 25 | PZ1 | 300 |
| 653031 | FPF-SZ 3,0x12 YZF 1000 | 3.0 | 8 | 12 | PZ1 | 1000 |
| 653036 | FPF-SZ 3,0x16 YZF 1000 | 3.0 | 12 | 16 | PZ1 | 1000 |
| 653043 | FPF-SZ 3,0x20 YZF 1000 | 3.0 | 16 | 20 | PZ1 | 1000 |
| 653047 | FPF-SZ 3,0x25 YZF 1000 | 3.0 | 21 | 25 | PZ1 | 1000 |
| 653051 | FPF-SZ 3,0x30 YZF 1000 | 3.0 | 26 | 30 | PZ1 | 1000 |
| 653057 | FPF-SZ 3,0x35 YZF 1000 | 3.0 | 31 | 35 | PZ1 | 1000 |
| 653071 | FPF-SZ 3,5x13 YZF 100 | 3.5 | 9 | 13 | PZ2 | 100 |
| 653078 | FPF-SZ 3,5x16 YZF 1000 | 3.5 | 12 | 16 | PZ2 | 1000 |
| 653083 | FPF-SZ 3,5x20 YZF 1000 | 3.5 | 16 | 20 | PZ2 | 1000 |
| 653087 | FPF-SZ 3,5x25 YZF 1000 | 3.5 | 21 | 25 | PZ2 | 1000 |
| 653091 | FPF-SZ 3,5x30 YZF 1000 | 3.5 | 26 | 30 | PZ2 | 1000 |
| 653097 | FPF-SZ 3,5x35 YZF 1000 | 3.5 | 31 | 35 | PZ2 | 1000 |
| 653121 | FPF-SZ 4,0x12 YZF 300 | 4.0 | 7 | 12 | PZ2 | 300 |
| 653128 | FPF-SZ 4,0x16 YZF 300 | 4.0 | 11 | 16 | PZ2 | 300 |
| 653130 | FPF-SZ 4,0x17 YZF 100 | 4.0 | 12 | 17 | PZ2 | 100 |
| 653136 | FPF-SZ 4,0x20 YZF 1000 | 4.0 | 15 | 20 | PZ2 | 1000 |
| 653140 | FPF-SZ 4,0x25 YZF 1000 | 4.0 | 20 | 25 | PZ2 | 1000 |
| 653143 | FPF-SZ 4,0x30 YZF 300 | 4.0 | 25 | 30 | PZ2 | 300 |

| katalogové číslo | typ | závit D [mm] | délka závitu L _G [mm] | celková délka L [mm] | drážka | balení kusů |
|------------------|------------------------|--------------------|--|----------------------------|--------|-------------|
| 653152 | FPF-SZ 4,0x35 YZF 1000 | 4.0 | 30 | 35 | PZ2 | 1000 |
| 653160 | FPF-SZ 4,0x40 YZF 1000 | 4.0 | 35 | 40 | PZ2 | 1000 |
| 653173 | FPF-SZ 4,0x50 YZF 500 | 4.0 | 45 | 50 | PZ2 | 500 |
| 653190 | FPF-SZ 4,5x16 YZF 300 | 4.5 | 11 | 16 | PZ2 | 300 |
| 653194 | FPF-SZ 4,5x20 YZF 300 | 4.5 | 15 | 20 | PZ2 | 300 |
| 653198 | FPF-SZ 4,5x25 YZF 300 | 4.5 | 20 | 25 | PZ2 | 300 |
| 653202 | FPF-SZ 4,5x30 YZF 300 | 4.5 | 25 | 30 | PZ2 | 300 |
| 653209 | FPF-SZ 4,5x35 YZF 500 | 4.5 | 30 | 35 | PZ2 | 500 |
| 653215 | FPF-SZ 4,5x40 YZF 500 | 4.5 | 35 | 40 | PZ2 | 500 |
| 653221 | FPF-SZ 4,5x45 YZF 500 | 4.5 | 40 | 45 | PZ2 | 500 |
| 653227 | FPF-SZ 4,5x50 YZF 500 | 4.5 | 45 | 50 | PZ2 | 500 |
| 653250 | FPF-SZ 5,0x20 YZF 200 | 5.0 | 14 | 20 | PZ2 | 200 |
| 653254 | FPF-SZ 5,0x25 YZF 200 | 5.0 | 19 | 25 | PZ2 | 200 |
| 653259 | FPF-SZ 5,0x30 YZF 500 | 5.0 | 24 | 30 | PZ2 | 500 |
| 653261 | FPF-SZ 5,0x35 YZF 200 | 5.0 | 29 | 35 | PZ2 | 200 |
| 653266 | FPF-SZ 5,0x40 YZF 500 | 5.0 | 34 | 40 | PZ2 | 500 |
| 653272 | FPF-SZ 5,0x45 YZF 500 | 5.0 | 39 | 45 | PZ2 | 500 |
| 653277 | FPF-SZ 5,0x50 YZF 200 | 5.0 | 44 | 50 | PZ2 | 200 |
| 653286 | FPF-SZ 5,0x60 YZF 200 | 5.0 | 54 | 60 | PZ2 | 200 |
| 653316 | FPF-SZ 6,0x30 YZF 500 | 6.0 | 24 | 30 | PZ3 | 500 |
| 653319 | FPF-SZ 6,0x35 YZF 500 | 6.0 | 29 | 35 | PZ3 | 500 |
| 653323 | FPF-SZ 6,0x40 YZF 500 | 6.0 | 34 | 40 | PZ3 | 500 |
| 653341 | FPF-SZ 6,0x60 YZF 200 | 6.0 | 54 | 60 | PZ3 | 200 |